

ANALISIS EFISIENSI *BOILER* TERHADAP POLA PENGOPERASIAN *SOOTBLOWER* DI PLTU SURALAYA

Yudhi Chandra Dwiaji<sup>1)</sup>, Didik Margi Utama<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta

<sup>1)</sup>[yudhichandra7@gmail.com](mailto:yudhichandra7@gmail.com), <sup>2)</sup>[didikmargiutama@gmail.com](mailto:didikmargiutama@gmail.com)

ABSTRACT

PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) announced electricity consumption in the first half of 2018 was 112.46 TeraWatt hour (TWh) or grew 4.7 percent on an annual basis. With the continued increase in electricity demand, electricity providers are required to be able to provide reliable, stable and efficient electricity production to the public. High efficiency in an electricity production in a power plant can be seen from the performance or efficiency of the boiler, because the power of a boiler is the same as the power of a power plant. The boiler efficiency is obtained from calculating the ratio between the output energy and the boiler input energy. Boiler efficiency is influenced by the cleanliness of the boiler from coal ash deposits. Cleaning can be done by operating the sootblower. The sootblower operation method will affect the value of boiler efficiency which gives an idea of how much efficiency the boiler when the boiler is operating. As based on the analysis of the calculations that have been made, the results of the boiler efficiency decrease when the sootblower is operating. The highest decrease in boiler efficiency during the sootblower process is 2.22%, the lowest decrease in boiler efficiency during the process is 1.08% and the average decrease during the sootblower process is 1.73%. While the impact of sootblower operation, boiler efficiency has decreased 11 times and has increased 8 times, indicating that the sootblower operating method in PLTU Suralaya is not effective.

ABSTRAK

PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) mengumumkan konsumsi listrik pada paruh pertama 2018 sebesar 112,46 TeraWatt hour (TWh) atau tumbuh 4,7 persen secara tahunan. Dengan terus bertambahnya kebutuhan energi listrik maka diperlukan penyedia listrik yang mampu memberikan produksi listrik yang handal, stabil dan efisien kepada masyarakat. Efisiensi yang tinggi dalam suatu produksi listrik pada PLTU dapat dilihat dari kinerja atau efisiensi *boilernya*, karena daya suatu *boiler* sama dengan daya mampu suatu PLTU. Efisiensi *boiler* diperoleh dari perhitungan perbandingan antara energi output dan energi input boiler. Efisiensi *boiler* dipengaruhi oleh kebersihan *boiler* dari deposit abu batubara. Pembersihan dapat dilakukan dengan pengoperasian *sootblower*. Pola pengoperasian *sootblower* mempengaruhi nilai dari efisiensi boiler yang akan memberikan gambaran tentang seberapa besar efisiensi dari *boiler* ketika beroperasi. Sebagaimana berdasarkan analisis perhitungan yang dilakukan di dapatkan hasil efisiensi *boiler* mengalami penurunan ketika dilakukan kegiatan *sootblower*. Penurunan tertinggi efisiensi *boiler* selama proses *sootblower* adalah 2.22%, penurunan terendah efisiensi *boiler* selama proses adalah 1.08 % dan rata-rata penurunan selama proses *sootblower* adalah 1,73%. Sedangkan dampak dari pengoperasian *sootblower*, efisiensi *boiler* mengalami 11 kali penurunan dan 8 kali mendapatkan kenaikan menandakan bahwa pola pengoperasian *sootblower* di PLTU Suralaya kurang efektif.

**Kata kunci :** efisiensi boiler; sootblower; pola pengoperasian sootblower

1. PENDAHULUAN

Energi listrik di butuhkan dalam menunjang kelancaran aktivitas industri, pemerintahan, pendidikan, rumah tangga dan lain sebagainya. Meningkatnya akses listrik/elektrifikasi serta tumbuhnya perekonomian nasional membuat konsumsi listrik masyarakat juga naik. PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) mengumumkan konsumsi listrik pada paruh pertama 2018 sebesar 112,46 TeraWatt hour (TWh) atau tumbuh 4,7 persen secara tahunan (Primadhyta, 2018). Dengan terus bertambahnya kebutuhan energi listrik maka diperlukan penyedia listrik yang mampu memberikan produksi listrik yang handal, stabil dan efisien.

Untuk mampu memberikan produksi listrik yang handal, stabil dan efisien kepada masyarakat, unit PLTU harus mempunyai efisiensi yang tinggi. Efisiensi

yang tinggi dalam suatu produksi listrik pada PLTU dapat dilihat dari kinerja atau efisiensi *boilernya*, karena daya suatu boiler sama dengan daya mampu suatu PLTU. Permasalahan yang kompleks dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) mengharuskan operator memiliki fleksibilitas yang cukup untuk memastikan kinerja yang optimal. Tipe bahan bakar batu bara yang digunakan dalam proses pembakaran di dalam boiler adalah beragam dan berfluktuasi. Setiap jenis batu bara mempunyai karakteristik yang berbeda-beda yang akan mempengaruhi efisiensi dari sistem PLTU (Wijaya, 2018). Hal ini dikarenakan penggunaan boiler disesuaikan dengan beban yang dihasilkan dan jumlah karbon batubara yang digunakan sebagai bahan bakar utama pada proses pembakaran. (Maidi, 2017)

Semakin bagus jenis batubara yang digunakan semakin sedikit kandungan abu yang menempel di

pipa-pipa boiler dan semakin jelek jenis batubara yang digunakan semakin banyak kandungan abu yang menempel di pipa-pipa boiler (Deny, 2015). Pembersihan abu yang menempel di pipa-pipa harus dilakukan secara periodik dengan mempertimbangkan analisa-analisa operasi. Metode pembersihannya dapat dilakukan saat boiler operasi / boiler *shut down*. Pembersihan dilakukan saat tidak beroperasi dapat menggunakan metode manual yaitu dengan menggunakan alat mekanis untuk menghilangkan kerak yang menempel di dinding ataupun di pipa-pipa *superheater*, *reheater* dan *economiser*. Sedangkan pembersihan saat beroperasi hanya dapat dilakukan dengan mengoperasikan *sootblower* (Perak Learning Center, 2010).

Oleh karena itu peranan *sootblower* sangat penting dalam menjaga *effisiensi boiler*. Dalam pengoperasiannya *sootblower* sering mengalami banyak gangguan. Gangguan tersebut sering berakibat pada meningkatnya temperatur keluar dari *boiler* semakin meningkat, hal tersebut dapat berpengaruh *effisiensi boiler* dan berdampak pada lingkungan yang akan mengakibatkan hujan asam apabila temperature keluaran *boiler* terlalu tinggi (Chandra, 2017)

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pembangkit listrik tenaga uap (*Steam Power Plant*) memakai siklus Rankine PLTU Suralaya menggunakan siklus tertutup (*close cycle*) dengan dasar siklus rankine dengan *superheater* dan *reheater* pada boilernya.

Siklus ini terdiri dari empat proses tahapan, yaitu

1. Proses 1-2 : Kompresi isentropis oleh pompa
2. Proses 2-3 : Pemanasan air dalam boiler pada tekanan konstant (air menjadi uap).
3. Proses 3-4 : ekspansi isentropis dalam turbin.
4. Proses 4-1 : Pelepasan panas pada tekanan dalam kondensor (uap air di embunkan menjadi air)

Boiler adalah suatu kombinasi antara sistem-sistem peralatan yang dipakai untuk terjadinya perpindahan panas radiasi dan konveksi energi thermal gas-gas hasil pembakaran ke fluida kerja yaitu air. Sifat perpindahan panas yang terjadi adalah pertama perpindahan sub dingin dimana panas yang diterima digunakan untuk menaikkan temperature hingga mencapai temperatur cair jenuh. Kemudian mengalami proses pemanasan fluida kerja air secara bertahap menjadi *fluida* uap dan akhirnya menjadi uap jenuh. Pada tahap kedua ini tidak terjadi kenaikan temperatur. Panas yang diterima seluruhnya digunakan untuk terjadi perubahan fase. Apabila diperlukan, pemanasan dapat dilanjutkan dari uap jenuh menjadi uap super panas. Secara proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. Panas yang diberikan kepada fluida di dalam boiler berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yang dapat digunakan, seperti kayu, batubara, solar/minyak bumi, dan gas. Dengan adanya kemajuan teknologi, energi nuklir pun juga digunakan sebagai

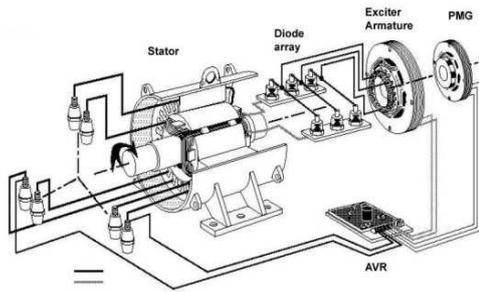
sumber panas pada boiler.

Pada intinya prinsip kerja turbin uap adalah menerima energi kinetik dari *superheater vapour* (uap kering) yang dikeluarkan oleh nozzle sehingga sudu-sudu turbin terdorong secara anguler atau bergerak memutar berikut penjelasan prinsip kerja :

1. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Di dalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih bedar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu di belokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.
2. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

Generator adalah alat untuk membangkitkan listrik yang terdiri dari stator dan rotor. Rotor tersebut dihubungkan dengan *Shaft Turbine* sehingga berputar bersama-sama. *Stator bars* didalam sebuah generator membawa arus hubungan output pembangkit. Arus DC (*Direct Current*) dialirkan melalui *Brush Gear* yang langsung bersentuhan dengan slip ring yang dipasang jadi satu dengan rotor sehingga akan timbul medan magnet (*flux*). Jika *rotor* berputar, medan magnet tersebut memotong kumparan pada *stator* sehingga pada ujung-ujung kumparan *stator* timbul tegangan listrik. Generator bekerja berdasarkan hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputar didalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (garis gaya listrik) yang mempunyai satuan volt.

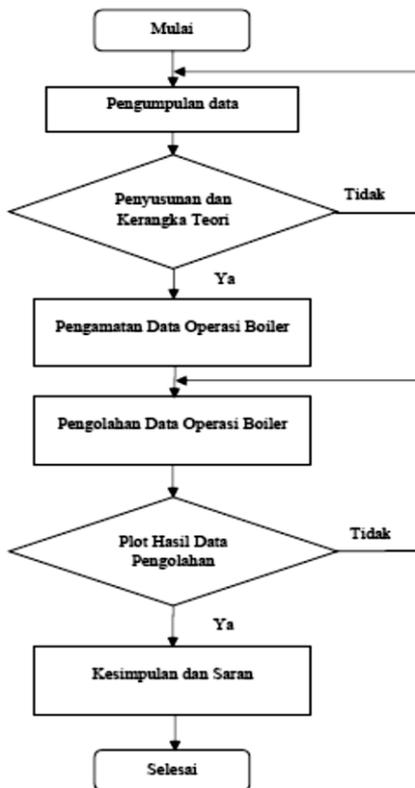


Sumber : Imam Nugroho, 2015

Gambar 1. Konstruksi Generator

Efisiensi boiler adalah presentasi kerja atau tingkat untuk kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Dengan kata lain, efisiensi boiler perbandingan antara panas keluar boiler yang terdapat pada uap outlet di *superheater* dengan panas keluar boiler yang terdapat pada bahan bakar batubara di *burner* (Perak Learning Center, 2010). Ada dua metode untuk menghitung efisiensi bahan bakar pada boiler, yaitu metode langsung dan metode tak langsung.

3. METODOLOGI



Sumber : Margi Utama, 2019

Gambar 2. Flowchart Penelitian

Pengumpulan data-data merupakan tahap awal dalam proses penelitian ini. Penulis menggunakan beberapa metode yang digunakan untuk mempermudah proses pengumpulan data dalam melaksanakan penelitian ini, yaitu:

- Observasi yaitu teknik mengumpulkan data dengan cara pengamatan langsung pada obyek yang diteliti.
- Wawancara yaitu teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui tatap muka dan tanya jawab secara langsung antara penulis dan narasumber.
- Studi Dokumen yaitu teknik pengumpulan data dengan cara meneliti berbagai macam dokumen yang berguna untuk bahan analisis, catatan khusus dan *manual book* dari komponen yang digunakan dalam penelitian.
- Input* data ke format *software* menggunakan laptop dan komputer pemantau operasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Energi Input Boiler

$$Q_{in} = \dot{m}_{coal} \times HHV$$

Dimana:

$$\dot{m}_{coal} = 339.1 \text{ ton/jam} = 94.26 \text{ kg/s}$$

$$HHV = 4249.57 \text{ kcal/kg} = 17780.2 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{in} = \dot{m}_{coal} \times HHV$$

$$Q_{in} = 94.26 \text{ kg/s} \times 17780.2 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{in} = 1676135.89 \text{ kJ/s}$$

Tabel 1. Nilai Efisiensi Boiler Terhadap Pola Pengoperasian Sootblower

JAM	Main steam			Hot Reheat Steam			SH Sprays Water		
	Pms (Mpa)	Tms (°C)	hms (kJ/kg)	Prs (Mpa)	Trs (°C)	hrs0 (kJ/kg)	Ppsw (Mpa)	Tpsw (°C)	hpsw (kJ/kg)
00.00	16.31	530.30	3381.22	3.50	533.40	3527.36	20.60	172.90	742.10
02.00	16.30	539.30	3406.73	3.50	539.50	3541.20	20.10	173.30	744.15
04.00	16.24	538.60	3405.44	3.54	539.60	3541.04	20.32	173.30	744.27
06.00	16.26	542.00	3414.74	3.50	540.00	3542.33	20.31	173.20	743.83
08.00	16.25	541.20	3412.33	3.47	541.10	3545.12	20.24	172.40	740.35
10.00	16.24	541.10	3412.44	3.48	540.20	3542.98	20.30	173.00	742.90
12.00	16.30	540.40	3409.81	3.47	539.10	3540.38	20.27	173.20	743.80
14.00	16.24	541.20	3412.72	3.49	539.20	3540.62	20.34	172.30	739.98
16.00	16.30	539.40	3407.01	3.48	540.20	3542.98	20.26	173.50	745.10
18.00	16.25	540.20	3409.81	3.48	540.00	3543.53	20.33	173.60	745.57
20.00	16.30	535.20	3395.20	3.49	532.20	3524.74	20.74	173.40	744.94
22.00	16.32	529.60	3379.11	3.49	530.40	3520.66	20.81	173.40	744.98
JAM	RH Sprays			Cold Reheat Steam			Feedwater		
	Prsw (Mpa)	Trsw (°C)	hsw (kJ/kg)	Prsi (Mpa)	Trsi (°C)	hrsi (kJ/kg)	Pfw (Mpa)	Tfw (°C)	hfw (kJ/kg)
00.00	17.01	177.70	729.04	3.72	331.20	3052.97	19.01	279.00	1226.76
02.00	16.71	176.50	726.10	3.81	332.10	3052.91	18.78	279.20	1227.82
04.00	16.82	177.20	729.16	3.74	330.20	3049.91	18.80	280.20	1232.82
06.00	16.72	177.30	729.54	3.80	329.80	3047.31	18.70	280.30	1233.35
08.00	16.74	177.20	729.10	3.80	329.80	3047.31	18.60	279.80	1230.87
10.00	16.70	176.40	725.63	3.80	330.10	3048.07	18.77	279.10	1227.32
12.00	16.72	176.80	727.37	3.80	330.20	3048.33	18.82	279.20	1227.81
14.00	16.73	176.70	727.01	3.81	330.40	3048.57	18.81	279.60	1229.81
16.00	16.74	177.00	729.07	3.80	331.20	3050.88	18.82	279.90	1231.31
18.00	16.81	171.10	728.25	3.82	330.40	3048.31	18.85	280.40	1233.81
20.00	16.92	177.30	729.65	3.80	330.50	3049.09	19.04	281.20	1237.78
22.00	16.91	177.40	729.00	3.76	330.40	3049.89	19.00	280.60	1234.77
JAM	Coal Flow (ton/hr)	Main Steam Flow (ton/hr)	Feed Water Flow (ton/hr)	Reheat Steam Flow (ton/hr)	SH Sprays Water Flow (ton/hr)	Reheat Sprays Water Flow (ton/hr)	Blowdown Flow (ton/hr)	Boiler Leakage Flow (ton/hr)	HHV (kcal/kg)
00.00	352.40	2011	2113	1651.00	21.42	0.00			4249.57
02.00	339.10	1901	2050	1577.83	37.31	32.11			4249.57
04.00	340.20	1919	2078	1592.77	40.60	29.24			4249.57
06.00	336.70	1920	2010	1593.60	45.24	33.36			4249.57
08.00	338.60	1918	2015	1591.94	54.31	31.42			4249.57
10.00	338.50	1898	2014	1575.34	43.23	35.75			4249.57
12.00	337.70	1905	2017	1581.15	53.21	33.44			4249.57
14.00	338.90	1908	2019	1583.64	42.43	32.36			4249.57
16.00	339.10	1911	2018	1586.13	56.54	34.21			4249.57
18.00	337.60	1910	2022	1574.00	46.86	30.58			4249.57
20.00	350.20	2005	2115	1662.00	20.15	0.00			4249.57

Sumber : Margi Utama, 2019

**4.2. Perhitungan Energi dalam Main Steam**

$$Q_{ms} = (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_{psw}) \times (h_{ms} - h_{fw})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{ms} = 1901 \text{ ton/jam} = 528.48 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{psw} = 57.51 \text{ ton/jam} = 15.98 \text{ kg/s}$$

$$h_{ms} = 3406.73 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fw} = 1227.82 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{ms} = (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_{psw}) \times (h_{ms} - h_{fw})$$

$$Q_{ms} = (528.48 \text{ kg/s} - 15.98 \text{ kg/s}) \times (3406.73 \text{ kJ/kg} - 1227.82 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{ms} = 1116674.42 \text{ kJ/s}$$

**4.3 Perhitungan Energi dalam Spray Water Superheater**

$$Q_{psw} = \dot{m}_{psw} \times (h_{ms} - h_{psw})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{psw} = 57.51 \text{ ton/jam} = 15.98 \text{ kg/s}$$

$$h_{ms} = 3406.73 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{psw} = 744.15 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{psw} = \dot{m}_{psw} \times (h_{ms} - h_{psw})$$

$$Q_{psw} = 15.98 \text{ kg/s} \times (3406.73 \text{ kJ/kg} - 744.15 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{psw} = 42568.74 \text{ kJ/s}$$

**4.4 Perhitungan Energi dalam Reheat Steam**

$$Q_{rs} = \dot{m}_{rs} \times (h_{rso} - h_{rsi})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{rs} = 1578 \text{ ton/jam} = 438.68 \text{ kg/s}$$

$$h_{rso} = 3541.2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{rsi} = 3052.91 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{rs} = \dot{m}_{rs} \times (h_{rso} - h_{rsi})$$

$$Q_{rs} = 438.68 \text{ kg/s} \times (3541.2 \text{ kJ/kg} - 3052.91 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{rs} = 214205.01 \text{ kJ/s}$$

**4.5 Perhitungan Energi dalam Spray Water Reheater**

$$Q_{rsw} = \dot{m}_{rsw} \times (h_{rsi} - h_{rsw})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{rsw} = 32.11 \text{ ton/jam} = 8.92 \text{ kg/s}$$

$$h_{rsi} = 3052.91 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{rsw} = 756.1 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{rsw} = \dot{m}_{rsw} \times (h_{rsi} - h_{rsw})$$

$$Q_{rsw} = 8.92 \text{ kg/s} \times (3052.91 \text{ kJ/kg} - 756.1 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{rsw} = 20502.65 \text{ kJ/s}$$

**4.6 Perhitungan Energi dalam Blowdown Boiler**

$$Q_{blw} = \dot{m}_{blw} \times (h_{blw} - h_{fw})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{blw} = 0 \text{ kg/s}$$

$$\text{maka, } Q_{blw} = 0 \text{ kJ/s}$$

**4.7 Perhitungan Energi Output Boiler**

$$Q_{out} = Q_{ms} + Q_{psw} + Q_{rs} + Q_{rsw} + Q_{blw}$$

$$Q_{out} = (1116674.42 + 42568.74 + 214205.01 + 20502.65 + 0) \text{ kJ/s}$$

$$Q_{out} = 1393950.82 \text{ kJ/s}$$

**4.8 Perhitungan Efisiensi Boiler**

$$\text{Efisiensi } (\eta) \text{ boiler} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) \text{ boiler} = \frac{1393950.82 \text{ kJ/s}}{1676135.89 \text{ kJ/s}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) \text{ boiler} = 83.16 \%$$

Hasil perhitungan yang berasal dari data aktual yang telah diambil dapat diketahui rata-rata efisiensi boiler, di sajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 2. Hasil Perhitungan Energi tanggal 1 sampai 10**

Efisiensi	Tanggal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sebelum sootblower	83.78	83.45	83.24	83.75	83.11	83.19	83.06	83.11	83.10	83.30
Proses sootblower	82.19	81.72	81.33	81.53	81.12	81.52	81.17	81.26	81.52	81.71
Sesudah sootblower	83.45	83.24	83.75	83.11	83.19	83.06	83.11	83.10	83.30	83.35

Sumber : Margi Utama, 2019

**Tabel 3. Hasil Perhitungan Energi tanggal 11 sampai 19**

Efisiensi	Tanggal								
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Sebelum sootblower	83.35	83.03	83.02	82.77	83.41	82.67	82.47	82.03	82.17
Proses sootblower	81.66	81.95	81.27	81.59	81.68	80.79	79.93	80.71	80.72
Sesudah sootblower	83.03	83.02	82.77	83.41	82.67	82.47	82.03	82.17	82.20

Sumber : Margi Utama, 2019

Ditinjau dari tabel 2 dan tabel 3 didapatkan efisiensi boiler mengalami penurunan ketika dilakukan kegiatan boiler. Penurunan tertinggi efisiensi boiler selama proses sootblower adalah 2.54% di tanggal 17 dan penurunan terendah efisiensi boiler selama proses adalah 1.08 % di tanggal 12. Sedangkan rata-rata penurunan selama proses sootblower dari tanggal 1 sampai 19 adalah 1,73%. Ketika dilakukan proses sootblower, batubara yang digunakan akan mengalami kenaikan untuk memproduksi sejumlah steam yang sesuai dengan kebutuhan steam untuk keperluan pengoperasian unit PLTU dan sootblower. Hal ini akan menyebabkan peningkatan energi input yang digunakan. Semakin tinggi energi input boiler maka semakin rendah efisiensi boiler yang kita dapatkan.

**5. PENUTUP**

**5.1 Kesimpulan**

Beberapa kesimpulan yang dapat di tulis dari hasil perhitungan dan analisis efisiensi boiler terhadap pola pengoperasian sootblower di PLTU Suralaya adalah sebagai berikut :

1. Kenaikan jumlah batubara ketika dilakukan sootblower menyebabkan energi input boiler menjadi tinggi sehingga efisiensi rata-rata boiler

- sebesar 83.06 % mengalami penurunan ketika dilakukan kegiatan *sootblower* sebesar 1.73 % sehingga rata-rata efisiensi *boiler* dilakukan kegiatan *sootblower* menjadi sebesar 81.34%.
2. Penurunan tertinggi efisiensi *boiler* selama proses *sootblower* adalah 2.54 % dari 82.47 % ke 79.93 % di tanggal 17 dan penurunan terendah efisiensi *boiler* selama proses adalah 1.08 % dari 83.03 % ke 81.95 % di tanggal 12.
  3. Pola pengoperasian *sootblower* di PLTU Suralaya kurang efektif jika dilakukan rutin secara terus menerus setiap harinya. Hal ini karena besarnya biaya yang digunakan untuk proses *sootblower* dan berdasarkan perhitungan data, 11 kali efisiensi *boiler* mengalami penurunan dan 8 kali mendapatkan kenaikan setelah dilakukan *sootblower*

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (1999). *Steam Generating Unit, ASME PTC 4.1-1964*. New York: ASME.
- Cengel, Yunus A.(2007) *Heat Transfer A Practical Approach, 2nd ed.* New York: McGraw-Hill.
- Deny, M.S. (2015). *Analisa Variasi Nilai Kalor Batubara di PLTU Tanjung Jati B Terhadap Energi Input Sistem*. Jurnal Rekayasa Mesin, 9(3), 93-100.
- Jiangxi Nanchang Power Plant. (2009). *Unit 8 of Suralaya Power Plant Central Control Operation Regulation & Training Material*. Cilegon: PLTU UJP Banten 1 Suralaya.
- Jiangxi Nanchang Power Plant. (2009). *Unit 8 of Suralaya Power Plant Specifications of Main Equipments*. Cilegon: PLTU UJP Banten 1 Suralaya.
- Perak Learning Center. (2010). *Modul 3 Pengoperasian Ketel Uap*. Surabaya: Perak Learning Center PT. Indonesia Power.
- Purnama, Nurul C. (2017). *Analisis Kegagalan Sootblower Terhadap Perpindahan Panas di Pipa Boiler*. Jurnal Teknik Mesin, Vol 6, No. 3.
- Primadhyta, S. (2018). *Semester I 2018, Konsumsi Listrik Tumbuh 4,7 Persen*.
- Maidi, Saputra (2017). *Analisis Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Di Furnace Boiler Circulating Fluidizing Bed Unit 1 Pltu Nagan Raya 2 X 110 Mw*. Jurnal Mekanova, Vol 3, No. 4.
- Wijaya, I. (2018). *Analisis Efisiensi Boiler Dengan Berbagai Perubahan Daya Output Generator Unit 6 PLTU Suralaya*.