Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)

Journal homepage: http://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JMST

Analisis Energi terhadap Performa *Boiler* Tipe *Fluidized Bed Combustion*

Maedanu Fasola Putra[1*], Danar Susilo Wijayanto[1], Nugroho Agung Pambudi[1]

[1]Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret
Kampus UNS Pabelan, Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta

*Corresponding author :
E-mail: maedanu_fp@student.uns.ac.id

Abstract – *The research aims to investigate the condition of Basuki boiler based on the energy analysis result. The research used quantitative-descriptive method. The population of this research was daily record of Basuki boiler. The sample was daily record of Basuki boiler performance for 1 year (February 2015 to January 2016). The sample was taken using purposive sampling method. The research analyzed energetic efficiency and heat losses were included. Based the result of the research, it can be concluded that Basuki boiler condition based on its energy analysis was good, because the energetic efficiency (83,14%) was higher than the company's target (80%). Total heat losses occured during boiler operation at 16,86% was devided into (1) heat loss in the flue gas (5,15%); (2) heat loss caused by unburned H_2 gas (5,47%); (3) heat loss caused by water content in the fuel (1,50%); (4) heat loss caused by the humidity (0,58%); (5) heat loss caused by imperfect combustion (0,13%); (6) heat loss caused by radiation and indeterminable heat loss (4,03%).*

Keywords: *Basuki boiler, record data, energetic efficiency, heat loss.*

1. PENDAHULUAN

Isu tentang energi tidak dipungkiri lagi menjadi isu global yang sangat sentral diperbincangkan dewasa ini. Hal ini dikarenakan sumber energi dari fosil atau bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama yang digunakan di bumi terus berkurang. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak terbarukan. Itu berarti ketika persediaannya di alam sudah habis, maka tidak akan ada lagi yang bisa digunakan. Suatu saat nanti dapat dipastikan bahwa persedian bahan bakar fosil akan benar-benar habis, dan akan lebih cepat habis jika penggunaannya tidak dikendalikan atau dibatasi.

Pada dasarnya dalam upaya pengendalian penggunaan energi dari fosil ada beberapa hal yang bisa dilakukan, yaitu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, mengganti sumber energi (bahan bakar) fosil dengan sumber energi alternatif dan terbarukan, dan mengoptimalkan sumber energi yang digunakan. Langkah yang paling mungkin dilakukan adalah dengan mengoptimalkan sumber energi (bahan bakar) yang digunakan. Penerapan langkah tersebut tidak akan secara langsung dapat mengurangi penggunaan sumber energi, akan tetapi dapat meminimalisir terbuangnya energi dan mengurangi emisi. Upaya tersebut juga dapat meningkatkan produktivitas kerja, karena dengan menggunakan jumlah sumber energi yang sama dapat menghasilkan produk yang lebih banyak, baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

Pada sebuah dunia industri penggunaan sumber energi atau bahan bakar menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Dalam industri berskala menengah hingga besar banyak menggunakan peralatan yang memerlukan bahan bakar, salah satunya adalah *Boiler*. *Boiler* merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan air hingga menjadi uap. Sumber energi yang digunakan pada *boiler* berupa bahan bakar yang umumnya berupa berasal fosil seperti minyak dan batu bara.

Boiler terdiri dari berbagai komponen, dan sebagaimana alat ciptaan manusia lainnya seiring berjalannya waktu alat tersebut akan mengalami gangguan atau kerusakan. Langkah penanganan yang baik harus

dilakukan dengan analisis terhadap kinerja *boiler* terlebih dahulu. Hal ini digunakan untuk mengetahui bagian atau komponen apa yang mengalami gangguan dan mengetahui penyebabnya, sehingga dapat menentukan langkah yang tepat dan mencegah permasalahan yang sama timbul kembali. Salah satu metode analisis yang bisa dipakai adalah analisis energi.

Metode analisis energi merupakan sebuah metode untuk mengetahui kinerja suatu alat dengan menganalisis siklus energi yang terjadi. Metode ini mengaplikasikan hukum pertama thermodinamika. Metode ini cukup efektif karena dalam penggunaannya hanya memerlukan data record harian yang ada.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas peniliti ingin menerapkan metode analisis energi dalam penelitian yang peneliti lakukan. Selanjutnya penilitian yang dilakukan memiliki tajuk "Analisis Energi terhadap Performa *Boiler* Tipe *Fluidized Bed Combustion*.".

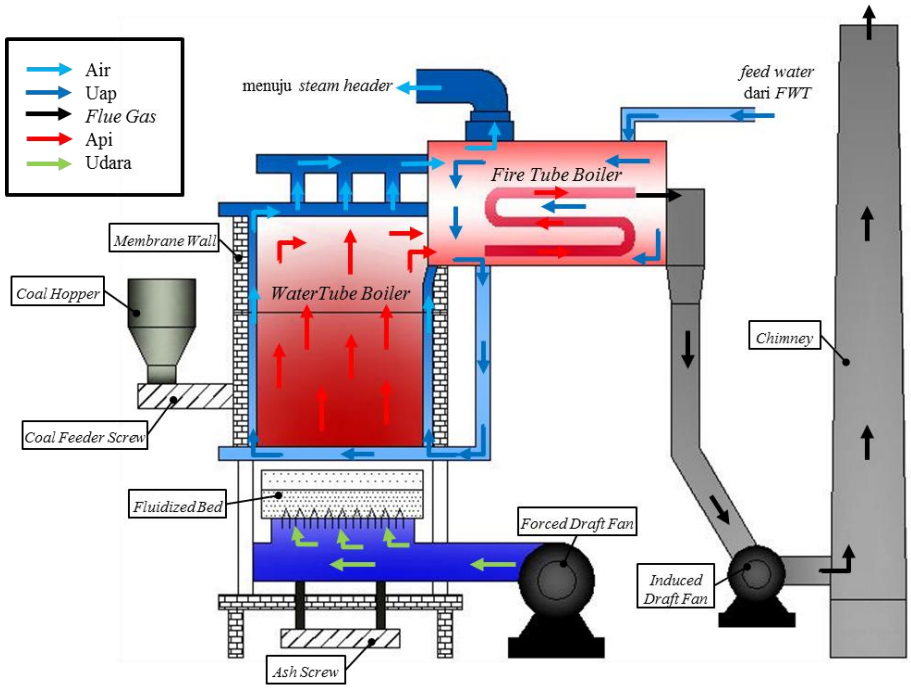
Deskripsi *Boiler*

Penelitian ini meneliti siklus energi pada *boiler* dengan tipe *Bubbling Fluidized Bed Combustion*. *Boiler* tersebut digunakan untuk menghasilkan uap yang akan digunakan untuk proses fermentasi dan destilasi pada industri Etanol. Bahan bakar yang digunakan pada *boiler* merupakan batu bara jenis bituminous yang dihaluskan. Berikut adalah spesifikasi *boiler* secara umum:

Spesifikasi *Boiler*		
Tahun beroperasi	:	2006
Jenis *boiler*	:	Gabungan Pipa Api dan Pipa Air
Bahan bakar	:	Batu bara Bituminous
Tipe pembakaran	:	*Bubbling Fluidized Bed Combustion*
Produksi *steam*	:	15 Ton *steam*/ jam
Suhu *steam*	:	165^{0}C s.d. 185^{0}C
Suhu *stack*	:	190^{0}C s.d. 210^{0}C
Tekanan Kerja	:	6 s.d. 10 bar
Tekanan maks.	:	16 bar

(Sumber: Astrawan, 2016)

Boiler tersebut merupakan boiler tipe gabungan pipa api dan pipa air. Proses yang terjadi pada *boiler* ditunjukkan dengan Gambar 1.



Gambar 1 Siklus Kerja *Boiler* Tipe *Fluidized Bed Combustion*

Proses yang terjadi pada boiler dimulai dari air umpan setelah mengalami pemanasan awal pada *pre-heater* dan *deaerator* dipompa masuk ke *boiler*. Air umpan yang masuk *boiler* bersuhu 96^{0}C akan melewati *shell* pada *boielr* pipa api terlebih dahulu. Sebagian air umpan akan menguap dan uap yang dihasilkan akan dialirkan menuju ke *steam header*. Sebagian lainnya yang belum menjadi uap akan dialirkan ke pipa pada *membrane wall*. Pada *membrane wall* air umpan yang belum menjadi uap akan dipanasi hingga menjadi uap. Pemanasan pada *membrane wall* memanfaatkan panas langsung dari dapur pembakaran *boiler* dengan media transfer panas berupa pasir silika.

Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada *boiler* Basuki merupakan bahan bakar pada berupa batu bara yang dihaluskan. Batu bara yang digunkaan untuk *boiler* Basuki memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Spesifikasi bahan bakar *boiler* Basuki	
Bahan bakar	: Batu bara
Jenis	: Bituminous
Asal	: Kalimantan
Ukuran butir	: 0,1 s.d. 2,5 mm
Kandungan Mineral	: 85% Karbon (C), 6% Hidrogen (H_2), 8% Sulfur (S), 1% Oksigen (O_2)
Nilai bakar	: 4800 s.d. 6000 kkal/kg
Kualitas	: Sedang
Titik bakar	: 600 s.d. 700 ^{0}C
Kebutuhan udara	: 9,736 kg udara/kg batu bara

(Sumber: Astrawan, 2016)

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif, dimana dalam penelitian ini melakukan analisis siklus energi pada sistem *boiler*. Untuk menganalisis hal tersebut maka diperlukan sampel berupa data *record* harian kinerja *boiler* untuk periode Februari 2015 s.d. Januari 2016. Pengembangan data yang dilakukan menggunakan rumus-rumus berikut:

a. Produksi Energi

$$Q_{in} = W_{coal} \, x \, LHV \, (kkal/jam)$$

b. Konsumsi Energi

$$Q_{use} = W_{steam} \, x \, (H_g - H_f) \, (kkal/jam)$$

c. Efisiensi termal

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{use}} \text{ x } 100\%$$

d. Efisiensi termal

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{use}} \text{ x } 100\%$$

e. Kerugian Panas pada Gas Buang

$$Q = V_g \, . \, c_p \, (t_g - t_0) \, kkal/kg \, b.bakar$$

f. Kerugian Panas akibat Gas H_2 yang tidak Terbakar

$$Q_M = 9 \, H_2 \, (H_f + C_p \, (t_g - t_f) - H_{H2O}) \, kkal/kg$$

g. Kerugian Panas akibat Kandungan Air dalam Bahan Bakar

$$Q_M = M \, (H_{sat} + C_p \, (t_{sup} - t_{sat}) - H_M) \, kkal/kg$$

h. Kerugian Panas karena Kadar Air dalam Udara

$$Q = W \, x \, W_{hum} \, x \, C_{S \, x} \, (T_g - T_0)$$

i. Kerugian Panas akibat Pembakaran tidak Sempurna

$$Q = W_{Abu} \, x \, Q_{Abu}$$

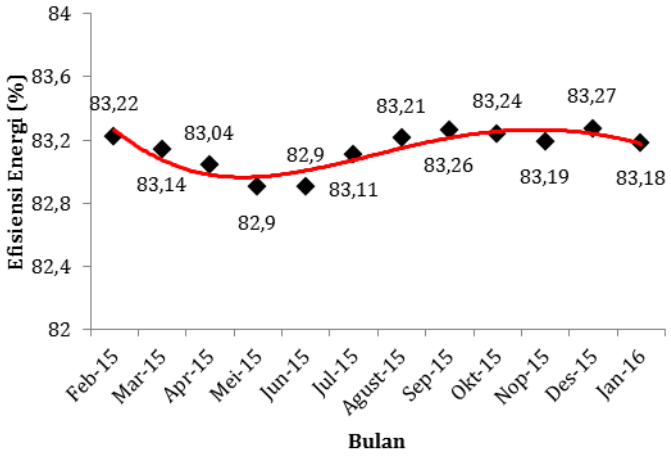
3. Hasil dan Pembahasan

Data *record* harian kinerja *boiler* Basuki periode Februari 2015 s.d. Januari 2016 disajikan dalam tabel 1. Data pada tabel 1 merupakan data primer yang diperoleh dari data *record* harian *boiler* Basuki. Data pada tabel 1 selanjutnya dikembangkan untuk dapat menentukan performa *boiler* berdasarkan hasil analisis energi.

Tabel 1. *Record Data Boiler* Basuki periode Februari 2015 s.d. Januari 2016

Bulan	Jam	Batu Bara	*Feed water*	Produksi *Steam*	Tekanan
		(kg)	(m^3)	(kg)	(bar)
Feb '15	512	763.570	6.132	5.518.800	7,76
Mar '15	714	1.195.560	9.145	8.239.500	7,39
Apr '15	707	975.605	7.681	6.912.900	7,72
Mei '15	528	596.720	4.582	4.123.800	7,56
Jun '15	720	920.030	8.011	7.218.800	7,64
Jul '15	148	196.220	1.384	1.245.600	7,46
Agt '15	229	417.990	3.272	2.944.800	6,67
Sep '15	545	1.016.420	7.859	7.073.100	7,37
Okt '15	464	603.610	4.739	4.265.370	7,24
Nov '15	685	1.040.280	8.174	7.356.157	7,14
Des '15	727	1.173.530	9.054	8.148.152	7,22
Jan '16	741	1.049.500	7.853	7.067.465	6,84
Total	**6720**	**9.949.035**	**77.886**	**70.105.444**	**88,01**
Rata-rata	**560**	**835.042**	**6.523**	**5.871.513**	**7,33**

Efisiensi energi *boiler* menyatakan ke-efektifan *boiler* dalam memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran. Rata-rata efisiensi *boiler* Basuki dalam 1 tahun ditunjukkan oleh Tabel 2. Efisiensi *boiler* dalam satu tahun mengalami perubahan setiap bulannya, akan tetapi tidak terlalu signifikan. Rata-rata efisiensi *boiler* dalam 1 tahun sebesar 83,14%, yang artinya boiler mampu memanfaatkan energi sebesar 5.806.139,02 kkal/jam untuk memanaskan air hingga menjadi *steam* dari total energi masuk yang dihasilkan dari pembakaran batu bara sebesar 6.982.820,78 kkal/jam. Perubahan efisiensi *boiler* dari bulan Februari 2015 hingga Januari 2016 (1 tahun) ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik efisiensi energi *boiler*

Tabel 2. Efisiensi Energi *Boiler* Basuki

Bulan	W_{coal} (kg/jam)	W_{steam} (kg/jam)	Q_{in} (kkal/jam)	Q_{use} (kkal/jam)	Efisiensi (%)
Feb '15	1.491,35	10.778,91	7.314.327,38	6.086.663,44	83,22
Mar '15	1.674,45	10.126,75	6.859.684,72	5.703.345,33	83,14
Apr '15	1.379,92	9.777,79	6.631.525,63	5.506.620,06	83,04
Mei '15	1.130,15	7.810,28	5.295.489,29	4.390.167,82	82,90
Jun '15	1.277,82	10.026,11	6.803.494,13	5.640.397,09	82,90
Jul '15	1.325,81	8.416,22	5.703.344,16	4.739.802,61	83,11
Agt '15	1.825,28	13.077,73	8.838.697,21	7.354.644,30	83,21
Sep '15	1.864,99	12.978,17	8.795.602,63	7.323.386,84	83,26
Okt '15	1.300,88	9.192,61	6.228.077,63	5.184.110,01	83,24
Nov '15	1.518,66	10.738,92	7.272.093,41	6.049.990,11	83,19
Des '15	1.614,21	11.207,91	7.593.146,73	6.322.495,59	83,27
Jan '16	1.416,33	9.537,74	6.458.366,41	5.372.044,97	83,18
Rata-rata	**1484,99**	**10.305,76**	**6.982.820,78**	**5.806.139,02**	**83,14**

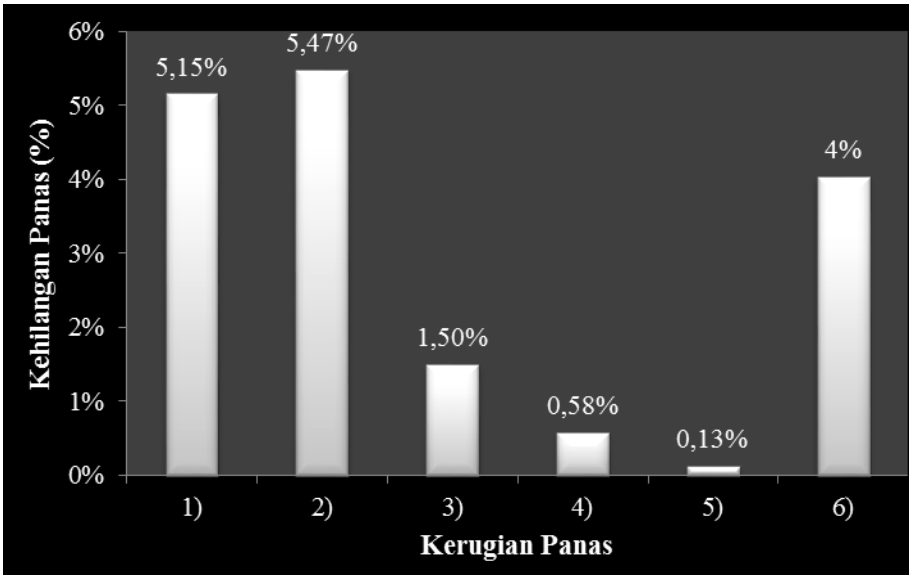
Tabel 2 menunjukkan efisiensi rata-rata *boiler* Basuki sebesar 83,14%, dimana efisiensi energi tertinggi terjadi pada bulan Desember 2015 dengan efisiensi sebesar 83,27%, sedangkan efisiensi energi terendah terjadi pada bulan Mei dan Juni 2015 dengan nilai sebesar 82,90%. Berdasarkan efisiensi energi rata-rata yang ditunjukkan, maka performa *boiler* Basuki dapat dikatakan dalam kondisi baik karena melebihi target perusahaan sebesar 80%.

Sementara itu, rata-rata sebesar 16,86% panas yang dihasilkan dari pembakaran hilang dalam kerugian panas yang terjadi pada beberapa tempat dan karena beberapa sebab. Kerugian-kerugian panas yang dapat terdeteksi oleh peneliti disajikan dalam Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan dari 16,86% kerugian panas yang terjadi pada *boiler* Basuki terdistribusi ke dalam beberapa kerugian panas berikut:

1) kerugian panas pada gas buang

Kehilangan panas akibat gas buang oleh *boiler* rata-rata dalam 1 tahun mencapai 5,15% atau sekitar 308,95 kkal/kg batu bara. Kehilangan panas tertinggi terjadi dibulan Desember 2015 sebesar 5,43% (325 kkal/kg batu bara) sedangkan yang terendah terjadi dibulan Mei 2015 sebesar 4,81% (288,42 kkal/kg batu bara).



Keterangan:
1) Kerugian panas pada gas buang
2) kerugian panas akibat gas H_2 yang tidak terbakar
3) kerugian panas akibat kandunagn air dalam bahan bakar
4) kerugian panas karena kadar air dalam udara
5) Kerugian panas akibat pembakaran tidak sempurna
6) Kerugian panas karena radiasi dan kehilangan panas lainnya yang tak terhitung

Gambar 3. Kerugian Panas pada *Boiler* Basuki

2) kerugian panas akibat gas H_2 yang tidak terbakar

Kehilangan panas akibat gas H_2 yang tidak terbakar pada proses pembakaran dapat bersenyawa dengan O_2 sehingga membentuk air dalam ruang bakar yang merugikan. Kehilangan panas ini dalam 1 tahun berkisar antara 5,41% hingga 5,52%, dengan rata-rata sebesar 5,47% (328,40 kkal/ kg batu bara).

3)kerugian panas akibat kandunagn air dalam bahan bakar

Kandungan air dalam batu bara dapat menurunkan nilai bakarnya. Semakin tinggi kandungan air maka semakin rendah nilai bakar batu bara. Kandungan air juga sangat menentukan kualitas dari batu bara yang digunakan, semakin rendah kandungan air maka kualitas batu bara semakin baik. Kehilangan panas ini dalam 1 tahun rata-rata sebesar 1,50% (70,55 kkal/kg batu bara) dengan nilai terbesar 1,72% (Februari 2015) dan nilai terendah 1,32% (Juni 2015).

4) kerugian panas karena kadar air dalam udara

Kehilangan panas akibat kadar air dalam udara dalam 1 tahun rata-rata sebesar 0,58% (34,96 kkal/ kg batu bara) dengan nilai kehilangan panas terbesar pada bulan September, November dan Desember 2015 sebesar 0,61%, sedangkan yang terendah terjadi pada bulan Mei 2015 dengan 0,54%.

5) kerugian panas akibat pembakaran tidak sempurna

Estimasi nilai panas yang terkandung dalam terak sebesar 150 kkal/kg dan massa abu dalam pembakaran 1 kg sebesar 5%. Dengan memperhatikan hal tersebut, maka besar kehilangan panas yang ditimbulkan sebesar 7,5 kkal/kg bahan bakar atau sebesar 0,125%. Kehilangan panas tiap untuk pembakaran yang tidak sempurna diasumsikan sama setiap bulannya karena dalam perhitungan ini yang digunakan sebagai pembanding adalah Estimasi Nilai Bakar tertinggi dari bahan bakar.

6) kerugian panas karena radiasi dan kehilangan panas lainnya yang tak terhitung .

Kehilangan panas karena radiasi dan lainnya merupakan kehilangan panas akibat terpancarnya panas ke permukaan komponen *boiler* dan kehilangan panas yang tak terhitung lainnya. *Boiler* Basuki memiliki luas permukaan radiasi diperkirakan mencapai lebih dari 1000 m^2, untuk itu besarnya kerugian panas akibat radiasi ditaksir mencapai 2 hingga 3%, sedangkan sisanya adalah kerugian panas yang tak terhitung lainnya. Dalam hal ini kerugian panas rata-rata dalam 1 tahun dapat mencapai 4,03% atau 189,54 kkal/ kg batu bara.

4. Kesimpulan

Hasil analisis energi terhadap performa *boiler* Basuki menunjukkan *boiler* dalam kondisi baik karena efisiensi energinya sebesar 83,14% melebihi target yang ingin dicapai oleh perusahaan (80%). Sementara itu, kerugian panas sebesar 16,86% terdistribusi ke dalam: (a) kerugian panas pada gas buang 5,15%, (b) kerugian akibat gas H_2 yang tidak terbakar 5,47%, (c) kerugian panas akibat kandungan air dalam bahan bakar 1,50%, (d) kerugian karena kelembaban udara 0,58%, (e) kerugian akibat pembakaran tidak sempurna 0,13%, dan (f) kerugian karena radiasi & kerugian lain 4,03%. Untuk penelitian sejenis yang akan dilakukan dapat menambahkan dan mengembangkan indikator yang dianalisis berkaitan dengan performa *boiler*, sehingga bahan yang dikaji untuk menentukan performa *boiler* dapat lebih luas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Indo Acidatama, Tbk., yang telah memberikan izin untuk menjalankan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Astrawan, Putu. (2009). *Instruksi Kerja, Operasional Boiler Basuki*. Karanganyar: PT. INDO ACIDATAMA Tbk.

Harnowo, Saptyaji. (2016). Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Sawit (PLTBS) Pabatu PT Perkebunan Nusantara IV. *J. Mek. Sist. Termal Vol. 1(1)2016:14-20*.

Hetharia, M. (2013). *Analisis Energi, Eksergi dan Termoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Merauke*. Makassar: Universitas Hasanuddin.

Muin, S. A. (1998). *Pesawat-pesawat Konversi Energi I : Ketel Uap*. Jakarata: Rajawali Press.

Palaloi, Sudirman. (2014). Analisis Potensi Penghematan Energi pada Boiler di Pabrik Tekstil. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) 2014, ISSN: 1979-911X*.

Rosen, Marc A. (2001). Energy and exergy based comparison of coal fired and nuclear steam power plants. *Exergy Int. J. 1(3) (2001) 180-192*.

Saidur, R., Ahmed, J. U. & Masjuki, H. H. (2009). Energy, Eksergy and Economic Analysis of Industrial Boilers. *Energy Policy 38 (2010) 2188-2197*.

Silaban, M. & Gani, D. (2013). Penghematan Energi dan Perhitungan Sederhana Menaksir Efisiensi Boiler. *Journal ISBN 978-979-15904-0-2*.

Singh, K. & Harripaul, D. (2011). Use of Exergy Analysis in the Thermal Optimisation of a Small Packaged Boiler. *The Journal of the Association of Proffesional Enginerers of Trinidad and Tobago, Vol. 40, No.2*.

Wibowo, Ari. (2016). Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Biomassa Sawit (PLTBS) Kapasitas 5 MW. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, Vol. 1(2), Agustus 2016 :53-60*.

Woodruff, E. B., Lammers, H. B. & Lammers, T. F. (1998). *Steam Plant Operation, Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill.