

## Analisa Efisiensi *Water Tube Boiler* Berbahan Bakar *Fiber* dan Cangkang di *Palm Oil Mill* Kapasitas 60 Ton Tbs/Jam dengan Menggunakan *Chemicalogic Steamtab Companion Version 2.0*

Khaidir Maulana<sup>1\*</sup>, Lukman<sup>2</sup>, Faqih Burhanuddin<sup>3</sup> Ari Susandy Sanjaya<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Kimia, Universitas Mulawarman Jl. Sambaliung No.09 Kampus Gunung Kelua Samarinda, 75119

\*email: khaidirm23@gmail.com

---

### Abstract

*Some of the factors that occupy the efficiency of the boiler are superheater pressure, feed water temperature, steam temperature, the amount of steam produced, the amount of fuel consumption, and the calorific value of fuel combustion. ChemicalLogic Steamtab Companion Software is software that use to calculate enthalpy value. The purpose of this research is to get the relationship of variation of superheater pressure with boiler efficiency, variation of feed water temperature with boiler efficiency, variation of steam generated with boiler efficiency, analyzing fuel calorific value of 75% fiber + 25% shell and analyzing water tube boiler. From the analysis result that has been done, the relation of variation of superheater pressure with boiler efficiency is not constant but irregular or up and down, the relation of feed water temperature variation with boiler efficiency is not constant but irregular or up and down, the relation of variation of steam produced with boiler efficiency relatively up. The highest burning calorific value (HHV) is 21078,4853 kJ/kg. The lowest burning calorific value (LHV) is 17838,4853 kJ/kg, the highest boiler efficiency value generated is 54.7% and the lowest boiler efficiency amounting to 44.23%.*

**Keywords:** *Boiler, Burning Calorific Value, Boiler Efficiency, ChemicalLogic Steamtab Companion*

---

### Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan produk samping kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan dan berkelanjutan khususnya Kalimantan Timur tepatnya dibagian Kutai Timur, Sangkulirang. Demikian pula dengan halnya PT. Indonesia Plantation Synergy yang bergerak dibidang agro industri menggunakan sumber energi biomassa limbah kelapa sawit. Sumber energi biomassa yang digunakan adalah berasal dari limbah padat pengolahan. Limbah tersebut yang akan digunakan sebagai bahan ketel uap. Pemanfaatan biomassa *fiber* dan cangkang secara optimal sangat berguna dalam hal peningkatan efisiensi *boiler* dan akan digunakan berguna untuk menganalisa sistem kerja *boiler* [1].

*Boiler* mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik kelapa sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari pabrik kelapa sawit. Fungsi dari *Boiler* adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik [1]. Uap keluaran turbin digunakan untuk proses pengolahan, di *Palm Oil Mill* dimana uap dibutuhkan untuk stasiun perebusan (*sterilizer*), stasiun *press* (*digester*), stasiun klarifikasi, stasiun pengolahan inti sawit, dan stasiun tangki timbun [5].

Banyak pabrik atau perusahaan yang sudah menerapkan penggunaan bahan bakar alternatif. Dan saat ini P.T. Indonesia Plantation Synergy memiliki kapasitas 60 ton TBS/jam. Analisa bahan bakar yang digunakan pada boiler P.T. Indonesia Plantation Synergy adalah fiber kelapa sawit murni, cangkang kelapa sawit murni serta fiber 75 % dan cangkang 25% [5]. Disamping itu sering kali efisiensi kualitas kerja *Boiler* tersebut diabaikan padahal peningkatan efisiensi kualitas kerja *Boiler* itu sendiri akan memberikan nilai ekonomis sendiri bagi perusahaan. Oleh karena itu peningkatan efisiensi *Boiler* sangat penting guna mendapatkan *output* yang baik [5]. Oleh karena itu perlu adanya analisa mengenai kinerja dari *Boiler* di perusahaan kelapa sawit dengan mengkaji lebih dalam sehingga dapat mengetahui kondisi optimum dari kinerja efisiensi *Boiler* menggunakan simulasi *ChemicalLogic Steamtab Companion* versi 2.0 [3].

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui nilai efisiensi *water tube boiler* di *Palm Oil Mill* tertinggi dan terendah, membandingkan efisiensi *water tube boiler* saat baru dengan keadaan aktual di lapangan, mengetahui hubungan variasi tekanan *superheater* dengan efisiensi *boiler*, mengetahui hubungan variasi suhu air umpan dengan efisiensi *boiler*, mengetahui hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi *boiler*, mengetahui nilai rata-rata yang diperoleh dari *boiler* seperti *steam pressure superheater, temperature*

*feed tank*, *temperature deaerator*, *temperature outlet steam* dan *steam flow*, serta mengetahui nilai kalor bahan bakar serabut 75% + cangkang 25% kelapa sawit. Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat dijadikan acuan pada industri untuk merancang unit *Boiler* dan menganalisa serta mengoptimasi kinerja unit tersebut.

*Boiler* atau ketel uap adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam* berupa energi kerja. Air panas atau *steam* pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi *kalor* ke suatu proses. Energi panas dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap dan lain sebagainya. 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 [1].

Komponen utama *water tube boiler* :

**1. Drum Ketel**

Drum Ketel sebagai “*steam separators*” dan “*purificators*” serta sebagai pencampur air agar homogen [4].

**2. Superheater**

*Superheater* digunakan untuk memanaskan uap jenuh yang terpisah di dalam drum uap. Dalam beberapa bagian uap tersebut hanya dipanaskan sedikit di atas titik saturasi dimana dalam bagian yang lain mungkin dipanaskan sampai temperatur yang signifikan untuk penambahan penyimpanan energi. Bagian *superheater* ini normalnya diletakkan dalam aliran gas yang lebih panas, depan *evaporator* [4].

**3. Economizer**

*Economizer* digunakan untuk pemanasan awal *feedwater* sebelum uap dipindahkan melalui *superheater* atau *steam outlet* dan air keluar melalui *blowdown*. pada umumnya *economizer* diletakkan di dalam gas yang lebih dingin pada bagian bawah (*down stream*) *evaporator* [4].

**4. Evaporator**

*Evaporator* merupakan bagian yang berfungsi menaikkan temperatur air mencapai titik didih. Pada *evaporator* terjadi peristiwa perubahan fase dari cair menjadi uap [4].

**Cangkang (Shell)**

Cangkang merupakan limbah dihasilkan dari pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa, mempunyai kalor 3500 kkal/kg – 4100 kkal/kg [2].

**Serabut (Fiber)**

*Fiber* merupakan limbah sisa perasan buah sawit berupa serabut seperti benang. Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% (*lignin* 26%) serta mempunyai kalor 2637 kkal/kg – 3998 kkal/kg [2].



Gambar 1. Cangkang Kelapa Sawit (*shell*)



Gambar 2. Serabut Kelapa Sawit (*fiber*)

Bejana bertekanan *Boiler* umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard ASME (*The American Society of Mechanical Engineers*) terutama untuk penggunaan *Boiler* pada industri – industri besar. Dalam sejarah tercatat berbagai macam jenis material yang digunakan sebagai bahan pembuatan *Boiler* seperti tembaga, kuningan dan besi cor [2].

Namun bahan – bahan tersebut sudah lama ditinggalkan karena alasan ekonomis dan juga ketahanan material yang sudah tidak sesuai dengan kebutuhan industri. Panas yang diberikan kepada fluida di dalam *Boiler* berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yg digunakan seperti kayu, batubara, solar/minyak bumi dan gas. Dengan adanya kemajuan teknologi, energi nuklir pun juga digunakan sebagai sumber panas pada *Boiler* [6].

### Metodologi Penelitian

Data yang dicantumkan terdiri dari data *sheet (base design) Boiler* dan data aktual pabrik. Dalam simulasi ini studi kasus yang dilakukan adalah:

1. Menganalisa efisiensi *water tube Boiler* di *Palm Oil Mill*.
2. Membandingkan efisiensi *Boiler* saat baru dengan keadaan sekarang, nilai *kalor* bahan bakar diuji dengan menggunakan bom calorimeter.
3. Mencari nilai *enthalpy* menggunakan *software ChemicaLogic Steamtab Companion* Versi 2.0.
4. Mendapatkan hubungan variasi tekanan *superheater* dengan efisiensi *Boiler*.
5. Mendapatkan hubungan variasi suhu air umpan dengan efisiensi *Boiler*, mendapatkan hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi *Boiler*. Metode yang digunakan adalah metode analisa *Water Tube Boiler* secara langsung.

Populasi dari penelitian ini adalah limbah biomassa kelapa sawit. Sampel yang diambil dari limbah biomassa kelapa sawit yaitu berupa *fiber* dan cangkang kelapa sawit. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*, dimana didasarkan atas pertimbangan – pertimbangan tertentu dikarenakan jumlahnya secara kuantitatif cukup besar.

### Deskripsi Data

Untuk melengkapi data yang dibutuhkan dalam analisa dan perhitungan diambil sesuai dengan aplikasi penelitian yaitu metode pengambilan data dengan cara pengamatan langsung membaca dan mencatat data-data pada setiap instrumen terhadap sistem dan proses di *Boiler*. Penulis memperoleh data yang diambil selama kerja praktek dari tanggal 25 Juli - 30 Agustus 2016 di *Palm Oil Mill* yang akan di pergunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang timbul. Data – data tersebut adalah:

Jenis Ketel Uap	: <i>Water Tube Boiler</i>
Model	: <i>BOILERMECH SDN BHD</i>
Negara Pembuat	: Malaysia
Type	: <i>BMWT-0446</i>
Kapasitas Produksi Uap	: 45 Ton/Jam
Tekanan Kerja Maksimal	: 54 Bar
Tekanan Desain	: 36 Bar
Tekanan Kerja Normal	: 32 Bar
Temperatur air masuk ketel	: 98 °C
Temperatur Uap <i>Superheater</i>	: 236 °C
Temperatur Desain	: 259 °C
Permukaan Pemanasan	: 1232 m <sup>2</sup>
Temperatur Desain <i>Superheater</i>	: 435 °C
Permukaan <i>Superheater</i>	: 55 °C
Luas Dapur	: 18 m <sup>2</sup>

**Tabel 1.** Data Spesifikasi *Boiler* diperoleh langsung dari katalog *Boiler*

<i>Steam Pressure Superheater (bar)</i>	<i>Temperature Air Umpan (°C)</i>	<i>Temperature Uap (°C)</i>	<i>Produksi Uap (Kg Uap/jam)</i>
31	98	236	45000

**Tabel 2.** Data 1 Kamis, 25 Agustus 2016

Time (Wita)	Steam Pressure (Bar)	Feed Water Temperature (°C)		Temperature Outlet Steam (°C)	Steam Flow (Ton/Jam)
	Superheater	Feed Tank	Deaerator		
13	30.6	80	90	236	21.8
14	30.7	88	90	236	28.7
15	30.6	88	96	236	27.3
16	31.2	90	98	236	27.6
17	30.9	90	98	236	25.2
18	30.8	90	98	236	27.7
19	30.3	90	98	236	28.2
20	30.2	92	98	236	28.7
<b>rata-rata</b>	<b>30.6625</b>	<b>88.5</b>	<b>95.75</b>	<b>236</b>	<b>26.9</b>

**Tabel 3.** Data 2 Jumat, 26 Agustus 2016

Time (Wita)	Steam Pressure (Bar)	Feed Water Temperature (°C)		Temperature Outlet Steam (°C)	Steam Flow (Ton/Jam)
	Superheater	Feed Tank	Deaerator		
13	31	90	96	236	18.2
14	30.9	90	96	236	19.8
15	30.9	90	98	236	22.5
16	30.8	90	98	236	19
17	29.6	90	98	236	21.2
18	31.1	92	98	236	24.8
19	30.9	92	98	236	2.4
20	30.7	92	98	236	24.8
<b>rata-rata</b>	<b>30.7375</b>	<b>90.75</b>	<b>97.5</b>	<b>236</b>	<b>22.2125</b>

**Tabel 4.** Data 3 Sabtu, 27 Agustus 2016

Time (Wita)	Steam Pressure (Bar)	Feed Water Temperature (°C)		Temperature Outlet Steam (°C)	Steam Flow (Ton/Jam)
	Superheater	Feed Tank	Deaerator		
13	30.8	90	98	236	27.1
14	30.8	90	98	236	25.9
15	30.5	92	98	236	26.9
16	30.4	92	98	236	25.6
17	31.2	92	98	236	25.1
18	30.8	92	98	236	26
19	30.4	92	98	236	27
20	30.7	92	98	236	25.6
<b>rata-rata</b>	<b>30.7</b>	<b>91.5</b>	<b>98</b>	<b>236</b>	<b>26.15</b>

**Tabel 5.** Data 4 Minggu, 28 Agustus 2016

Time (Wita)	Steam Pressure (Bar)	Feed Water Temperature (°C)		Temperature Outlet Steam (°C)	Steam Flow (Ton/Jam)
	Superheater	Feed Tank	Deaerator		
13	30.7	92	98	236	28.2
14	30.4	92	98	236	27.6
15	30.6	92	98	236	26.3
16	30.8	92	98	236	28
17	30.8	92	98	236	26.9
18	31	92	98	236	26.2
19	30.7	92	98	236	25.9
20	30.3	92	98	236	27.8
<b>rata-rata</b>	<b>30.6625</b>	<b>92</b>	<b>98</b>	<b>236</b>	<b>27.1125</b>

**Tabel 6.** Data 5 Senin, 29 Agustus 2016

Time (Wita)	Steam Pressure (Bar)	Feed Water Temperature (°C)		Temperature Outlet Steam (°C)	Steam Flow (Ton/Jam)
	Superheater	Feed Tank	Deaerator		
13	30.9	80	98	236	20
14	30.4	88	98	236	27.9
15	27.8	89	98	236	32
16	30.4	89	98	236	28.9
17	30.3	89	98	236	26.6
18	30.5	89	98	236	27.8
19	30.7	89	98	236	28.2
20	30.9	89	98	236	28.3
<b>rata-rata</b>	<b>30.2375</b>	<b>87.75</b>	<b>98</b>	<b>236</b>	<b>27.4625</b>

**Tabel 7.** Data 6 Kamis s/d Senin 2016

Hari/Tanggal	Steam Pressure (Bar)	Feed Water Temperature (°C)		Temperature Outlet Steam (°C)	Steam Flow (Ton/Jam)
	Superheater	Feed Tank	Deaerator		
Kamis	30.6625	88.5	95.75	236	26.9
Jumat	30.7375	90.75	97.5	236	22.2125
Sabtu	30.7	91.5	98	236	26.15
Minggu	30.6625	92	98	236	27.1125
Senin	30.2375	87.75	98	236	27.4625
<b>rata-rata</b>	<b>30.6</b>	<b>90.1</b>	<b>97.45</b>	<b>236</b>	<b>25.9675</b>

Pada pengujian ini, variabel pengujian untuk mendapatkan nilai *kalor* bahan bakar yaitu *High Heating Value* (HHV) dan *Low Heating Value* (LHV). Skala rasio yang diambil adalah serabut kelapa sawit murni, cangkang kelapa sawit murni dan perbandingan serabut kelapa sawit 75% dengan cangkang kelapa sawit 25%.

#### Rumus – rumus yang Digunakan

1. Nilai *kalor* atas (HHV) dapat dihitung dengan rumus:

$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \text{ (kJ/kg)}$$

2. Nilai *kalor* bawah (LHV) dapat dihitung dengan rumus:

$$LHV = HHV - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

3. Bila dilakukan pengujian n kali pengujian, maka:

$$HHV_{rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^n HHV}{n} \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$LHV_{rata-rata} = HHV_{rata-rata} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

Dimana:

$T_1$  = Suhu air dingin sebelum dinyalakan (°C)

$T_2$  = Suhu air dingin setelah penyalaan (°C)

$T_{kp}$  = kenaikan suhu akibat kawat menyala 0,05 °C

$C_v$  = Panas jenis bom *kalorimeter* (73529,6 kJ/kg.°C)

4. Konsumsi bahan bakar ( $W_f$ )

Mencari jumlah bahan bakar yang tersedia di *Palm Oil Mill*, untuk bahan bakar *fiber* 13% dari kapasitas pabrik dan bahan bakar cangkang 6% dari kapasitas pabrik. Sehingga:

- % *fiber* = % *fiber* x kapasitas pabrik
- % cangkang = % cangkang x kapasitas pabrik
- $W_f$  = 75% *fiber* + 25% cangkang

5. Efisiensi *Water Tube Boiler*

$$\eta_b = \frac{Ws (hg - hf)}{Wf \times LHV_{rata-rata}} \times 100\%$$

Dimana:

$Ws$  = Produksi Uap Boiler P.T. Indonesia Plantation Synergy (kg uap/jam)

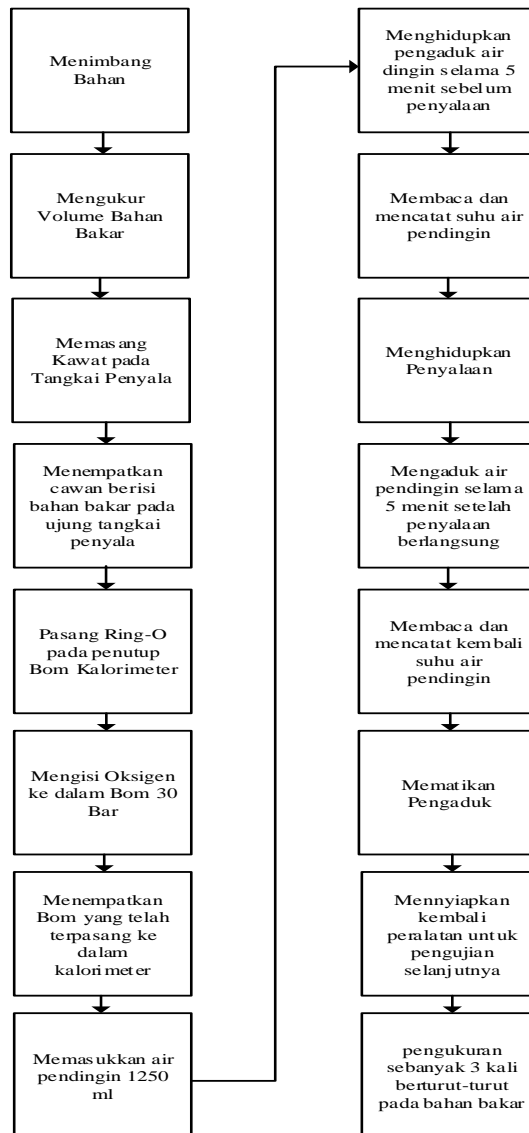
$hg$  = *Entalphy superheated/subcooled* (kJ/kg)

$hf$  = *Entalphy saturated* (kJ/kg)

$Wf$  = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$LHV_{rata-rata}$  = *Low Heating Value* rata - rata (kg/jam)

**Diagram Alir Penelitian**



**Gambar 3.** Diagram alir penelitian

**Hasil dan Pembahasan**

Uji laboratorium biasanya digunakan untuk mengkaji sifat dan kualitas bahan bakar. Jadi untuk melakukan pembakaran diperlukan tiga unsur yaitu:

- Bahan bakar
- Oksigen
- Suhu untuk memulai pembakaran

Panas (*kalor*) yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran atau nilai *kalor* bahan bakar (*Heating Value*).

**Nilai Kalor Bahan Bakar (*Heating Value*)**

Nilai *kalor* (*Heating Value*) adalah banyaknya energi panas yang diperoleh dari hasil pembakaran 1 kg bahan bakar. Nilai *kalor* ini dibagi menjadi:

1. Nilai *kalor* tinggi atau *High Heating Value* (HHV) adalah banyaknya kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar, tanpa adanya kandungan air pada bahan bakar.
2. Nilai *kalor* rendah atau *Low Heating Value* (LHV) adalah banyaknya *kalor* yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar dan sebagian dimanfaatkan untuk penguapan sehingga kandungan air pada bahan bakar akan habis.

**Tabel 8.** Hasil analisa *kalor* bahan bakar *fiber* murni

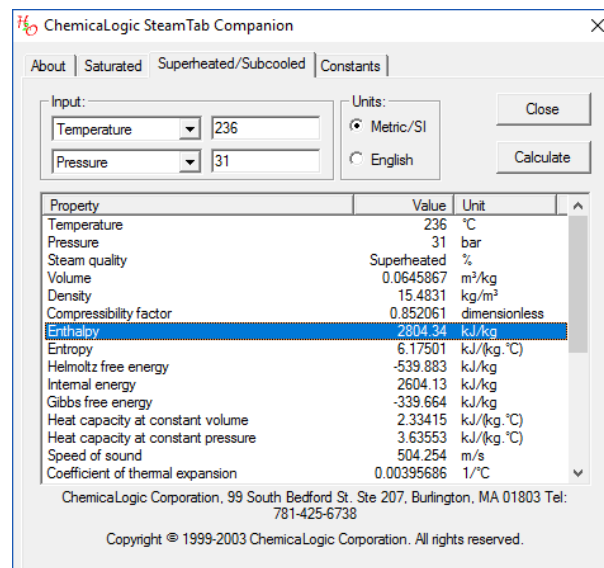
No.	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1.	26,13	26,35	12500,032	9260,032
2.	26,49	26,74	14705,92	11465,92
3.	26,91	27,18	16176,512	12936,512
Rata-rata			14460,8213	11220,8213

**Tabel 9.** Hasil analisa *kalor* bahan bakar *cangkang* murni

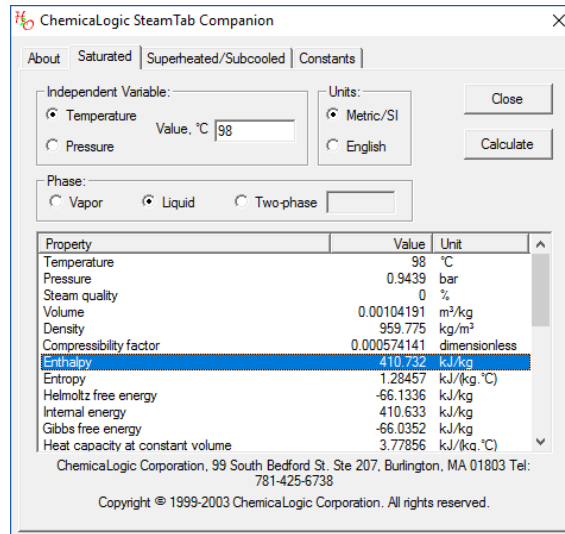
No.	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1.	26,71	27,08	23529,472	20289,472
2.	27,24	27,61	23529,472	20289,472
3.	27,82	28,19	23529,472	20289,472
Rata-rata			23529,472	20289,472

**Tabel 10.** Hasil analisa *kalor* bahan bakar *fiber* 75% + *cangkang* 25%

No.	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1.	26,93	27,27	21323,584	18083,584
2.	27,44	27,78	21323,584	18083,584
3.	27,94	28,27	20588,288	17348,288
Rata-rata			21078,4853	17838,4853



**Gambar 4.** Contoh simulasi mencari *enthalpy* pada P = 31 bar dan T = 236°C menggunakan *ChemicaLogic Steamtab Companion* Versi 2.0.



**Gambar 5.** Contoh simulasi mencari *enthalpy* pada  $T = 98^{\circ}\text{C}$  menggunakan *ChemicalLogic Steamtab Companion* Versi 2.0.

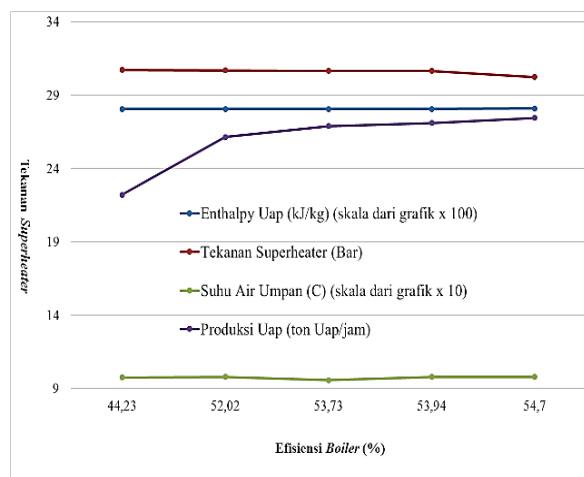
**Tabel 11.** Data Efisiensi *Boiler* Saat Baru

<i>Entalpy</i> Uap (kJ/kg)	Tekanan <i>Superheater</i> (Bar)	Suhu Air Umpan ( $^{\circ}\text{C}$ )	Produksi Uap (kg Uap/jam)	Efisiensi <i>Boiler</i> (%)
2804,34	31	98	45000	89,45%

Dengan menggunakan 5 data yang dikumpulkan selama 5 hari berturut – turut pada proses *Boiler* berbahan bakar *fiber* dan cangkang di PT. Indonesia Plantation Synergy maka didapatkan perhitungan sebagai berikut:

**Tabel 12.** Hubungan *Entalpy* Uap, Tekanan *Superheater*, Suhu Air Umpan, dan Produksi Uap dengan Efisiensi *Boiler* menggunakan 5 data aktual pada lapangan proses di *Boiler*

<i>Entalpy</i> Uap (kJ/kg)	Tekanan <i>Superheater</i> (Bar)	Suhu Air Umpan ( $^{\circ}\text{C}$ )	Produksi Uap (kg Uap/jam)	Efisiensi <i>Boiler</i> (%)
2806,06	30,7375	97,5	22212,5	44,23%
2806,3	30,7000	98	26150	52,02
2806,54	30,6625	95,75	26900	53,73
2806,54	30,6625	98	27112,5	53,94
2809,28	30,2375	98	27462,5	54,7



**Gambar 6.** Grafik Hubungan *Entalpy* Uap, Tekanan *Superheater*, Suhu Air Umpan, dan Produksi Uap dengan Efisiensi *Boiler*



Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat bahwa Hubungan *Enthalpy* Uap, Tekanan *Superheater*, Suhu Air Umpan, dan Produksi Uap dengan Efisiensi *Boiler*. Dimana efisiensi *boiler* sebesar 44,23% dengan nilai *enthalpy* uap sebesar 2806,06 kJ/kg, tekanan *superheater* sebesar 30,7375 bar, suhu air umpan 97,5°C dan produksi uap 22212,5 kg uap/jam, efisiensi *boiler* sebesar 52,02% dengan nilai *enthalpy* uap sebesar 2806,3 kJ/kg, tekanan *superheater* sebesar 30,7000 bar, suhu air umpan 98°C dan produksi uap 26150 kg uap/jam, efisiensi *boiler* sebesar 53,73% dengan nilai *enthalpy* uap sebesar 2806,54 kJ/kg, tekanan *superheater* sebesar 30,6625 bar, suhu air umpan 95,75°C dan produksi uap 26900 kg uap/jam, efisiensi *boiler* sebesar 53,94% dengan nilai *enthalpy* uap sebesar 2806,54 kJ/kg, tekanan *superheater* sebesar 30,6625 bar, suhu air umpan 98°C dan produksi uap 27112,5 kg uap/jam, efisiensi *boiler* sebesar 54,7% dengan nilai *enthalpy* uap sebesar 2809,28 kJ/kg, tekanan *superheater* sebesar 30,2375 bar, suhu air umpan 98°C dan produksi uap 27462,5 kg uap/jam.

## Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

Dari simulasi ini dapat disimpulkan analisa kinerja dari *Water Tube Boiler* yaitu:

1. Nilai efisiensi *water tube boiler* terendah yang dihasilkan sebesar 44,23% dan nilai efisiensi *water tube boiler* tertinggi yang dihasilkan sebesar 54,7%.
2. Membandingkan efisiensi *boiler* saat baru dengan keadaan sekarang mengalami penurunan, efisiensi *boiler* saat baru sebesar 89,45% sedangkan efisiensi *boiler* dengan keadaan saat ini mengalami penurunan menjadi sebesar 44,23% - 54,7%.
3. Hubungan variasi tekanan *superheater* dengan efisiensi *boiler* tidak konstan melainkan tidak teratur atau naik turun.
4. Hubungan variasi suhu air umpan dengan efisiensi *boiler* tidak konstan melainkan tidak teratur atau naik turun.
5. Hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi *boiler* relatif konstan naik.
6. Nilai rata – rata yang diperoleh dari *boiler* untuk:
  - *Steam Pressure Superheater* : 30,6 bar
  - *Temperatur Feed Tank* : 90,1°C
  - *Temperatur Deaerator* : 97,45°C
  - *Temperatur Outlet Steam* : 236°C
  - *Steam Flow* : 25,9675 ton uap/jam
7. Nilai Kalor bahan bakar serabut 75% + cangkang 25% kelapa sawit:
  - Nilai Kalor Pembakaran Tinggi (HHV) : 21078,4853 kJ/kg
  - Nilai Kalor Pembakaran Rendah (LHV): 17838,4853 kJ/kg

### Saran

Adapun saran – saran yang dapat diajukan pada *Palm Oil Mill* maupun pembaca untuk menyempurnakan penelitian tentang analisa efisiensi *water tube boiler* berbahan bakar *fiber* dan cangkang yaitu:

1. Untuk meningkatkan efisiensi *boiler* lakukan pengecekan secara berkala dan pembersihan pipa – pipa *boiler* secara berkala.
2. Untuk meningkatkan efisiensi *boiler* kandungan air yang berlebihan pada bahan bakar untuk diperhatikan.
3. Temperatur air umpan lebih diperhatikan.
4. Untuk mengurangi penurunan efisiensi *boiler* lakukan pengontrolan terhadap kandungan air pada *feed water* sebelum masuk ke *deaerator*.
5. Lakukan pengecekan katup – katup yang ada pada *boiler*, harus diperhatikan bahwa semua katup dapat berfungsi dengan baik.

### Daftar Pustaka

- [1] Djokosetyardjo, I. R. M. J., 2003, *Ketel Uap*, Cetakan Kelima, Pradnya Paramita. Jakarta.
- [2] Febijanto, Irham, 2016, *Journal, Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Tenaga Biomassa Sawit*, Jakarta.
- [3] James J. Jackson, 1980, *Steam Boiler Operation*, Prenticehall, Inc.
- [4] Holman, J. P., 1981, *Heat Transfer*, Mc Graw Hill Book Inc., Edisi ke 5, Jakarta.
- [5] Mars G. Fontana “*Corosion Engineering*” Third Edition, McGraw – Hill Book Company, New York, 1986.
- [6] M. J. Djokosetyardjo, 1993, *Ketel Uap*, P. T. Pradnya Paramita.
- [7] Silalahi Abel, 1977, *Dasar – dasar Ketel Uap*, ITN Malang
- [8] Yunus, Asyari D. *Ketel Uap (Steam Boiler)*. Jakarta: Teknik Mesin Universitas Darma Persada.