

Analisis Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar Fiber Dan Cangkang Sawit di PT Dhamasraya Palma Sejahtera

Jatmiko Edi Siswanto¹ dan Generousdi²

Program Studi Teknik Mesin

Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi

Correspondence email: jatmikoedisiswanto@stiteknas.ac.id, mr.generousdi@yahoo.co.id

Abstrak. Perusahaan pengolahan pabrik kelapa sawit dalam pengoperasiannya menggunakan Water Tube Boiler yang berbahan bakar cangkang dan fiber. Boiler atau Ketel Uap adalah suatu wadah yang di dalamnya berisi air atau fluida lain untuk dipanaskan. Boiler di berkapasitas 30 Ton. Pada umumnya setiap mesin yang diproduksi oleh pabrik selalu dilengkapi dengan handbook/ buku petunjuk cara pemasangan, perawatan, dan pengoperasiannya. Begitu juga dengan boiler yang ada di Perusahaan terdapat buku petunjuk tentang spesifikasi pengoperasian, perawatan, pemasangan, dan lain-lain. dari bermacam macam campuran bahan bakar boiler untuk pembakaran dapat menghasilkan efisiensi termis yang berbeda beda yang tergantung dari prosentase campuran, pada penelitian ini didapat hasil pengujian laboratorium nilai kalor bahan bakar campuran fiber 70% dan cangkang 30% memiliki nilai kalor tertinggi yaitu 4604,7 Cal/g. Nilai efisiensi boiler tertinggi yang dihasilkan sebesar 53,9 % menggunakan bahan bakar cangkang 100 %, efisiensi menggunakan bahan bakar fiber 100 % sebesar 51 % dan nilai efisiensi boiler terendah yang dihasilkan sebesar 49,5 % dengan menggunakan bahan bakar campuran 70 % fiber dan 30 % cangkang.

Kata Kunci : Boiler, Komposisi, Bahan Bakar, Efisiensi.

***Abstract.** Palm oil mill processing companies in their operations use Water Tube Boilers which are fueled by shells and fiber. Boiler or Steam Kettle is a container that contains water or other fluids to be heated. Boiler with a capacity of 30 tons. In general, every machine produced by the factory is always equipped with a handbook/instruction book on how to install, maintain and operate it. Likewise with the boilers in the Company there are manuals regarding specifications for operation, maintenance, installation, and others. of various kinds of boiler fuel mixtures for combustion can produce different thermic efficiencies depending on the percentage of the mixture, in this study the results of laboratory tests obtained the calorific value of the fuel mixture of 70% fiber and 30% shells had the highest calorific value, namely 4604.7 Cal /g. The highest boiler efficiency value produced was 53.9% using 100% shell fuel, the efficiency using 100% fiber fuel was 51% and the lowest boiler efficiency value produced was 49.5% using a mixed fuel of 70% fiber and 30 % shell.*

Keyword: Boiler, Composition, Fuel, Efficiency

PENDAHULUAN

Era globalisasi semakin membuat masyarakat dunia tertantang karena pesatnya perkembangan dunia yang mengakibatkan antar negara bersaing. Hal ini berdampak pada pemenuhan kebutuhan akan energi atau bahan bakar juga akan semakin bertambah, yang mana dunia industri merupakan salah satu pengonsumsi energi atau bahan bakar yang cukup besar. Faktor tersebut banyak berpengaruh terhadap kecenderungan ekonomis, sehingga harga bahan bakar semakin meningkat. Semakin meningkatnya harga bahan bakar semakin menipis pula ketersediaan bahan bakar.

Limbah pabrik kelapa sawit yang berupa fiber dan cangkang dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar boiler sebagai penghasil uap yang digunakan untuk penggerak turbin pembangkit tenaga listrik, juga sumber uap digunakan untuk proses pengolahan dan perebusan (Parinduri, 2016). Limbah fiber dan cangkang sawit dapat dimanfaatkan secara optimal untuk peningkatan efisiensi boiler (Djokosetyarjo, 2003), di mana perbandingan pemakaian fiber dan cangkang yang tempat akan mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam PT. Dhamasraya Palma Sejahtera merupakan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dengan kapasitas olah tandan

buah segar (TBS) 30 ton/jam berlokasi di desa Tanjung Putra, Kecamatan Mersam, Kabupaten Batanghari,

Provinsi Jambi. PKS tersebut menggunakan boiler sebagai pembangkit utama yang mana menggunakan cangkang dan serabut sebagai bahan bakarnya, adapun komposisi yang digunakan selama ini oleh perusahaan tersebut adalah 30% Cangkang dan 70% Serat. 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. Efisiensi boiler adalah indeks keseluruhan kinerja boiler terhadap energi input dari bahan bakar yang menjadi energi panas.

Tinjauan Pustaka

1. Pengaruh nilai kalor bahan bakar terhadap **efisiensi boiler**. Yolanda Pravitasari dan Mariana B.Malinoa.2017 melakukan penelitian tentang analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung. Data tekanan, temperatur dan uap per jam

dari boiler diolah melalui proses interpolasi data untuk memperoleh nilai entalpi panas lanjut dan entalpi air umpan sehingga diperoleh kalor keluaran dari boiler. Nilai GCV rerata bahan bakar sebesar 12865,14 kJ/kg, berdasarkan hasil analisis uji ultimat diperoleh nilai efisiensi boiler sebesar 46%. Penurunan nilai efisiensi boiler dikarenakan kandungan karbon, hidrogen, belerang dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna. Dosma Putra Lumban Gaol.2015 melakukan penelitian tentang efisiensi water tube boiler berbahan bakar fiber, cangkang sawit dan kulit kayu menggunakan metode langsung. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi boiler adalah tekanan superheater, temperatur feed water, temperatur uap, jumlah uap yang dihasilkan, jumlah konsumsi bahan bakar, dan nilai kalor pembakaran bahan bakar. Penggunaan perangkat lunak chemicallogic steamtab companion untuk menghitung nilai enthalpy. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan hubungan variasi tekanan superheater dengan efisiensi boiler, hubungan variasi temperature feed water dengan efisiensi boiler, hubungan variasi jumlah uap yang dihasilkan dengan efisiensi boiler, menganalisa nilai kalor bahan bakar fiber 50% + cangkang sawit 20% + kulit kayu 30%, dan menganalisa efisiensi boiler. Dari hasil analisa yang telah dilakukan maka hubungan variasi tekanan superheater dengan efisiensi boiler relatif turun, semakin tinggi tekanan superheater maka efisiensi boiler semakin rendah

Boiler merupakan suatu pembangkit uap yaitu yang terdiri dari kombinasi komplek berupa economizer, ketel, pemanas lanjut dan pemanas udara awal. Sebagai tambahan sistem ini, khususnya yang dengan bahan bakar limbah biomassa, mempunyai berbagai perlengkapan seperti ruang bakar, fan, perlengkapan pengendali emisi, cerobong, dan peralatan penanganan abu. Ketel adalah bagian dari pembangkit uap dimana air jenuh diubah menjadi uap jenuh, walaupun mungkin sulit memisahkannya dengan ekonomiser. Pada beberapa literatur, istilah ketel uap (boiler) kadang kadang digunakan untuk mengartikan pembangkit uap.

Pada umumnya setiap mesin yang diproduksi oleh pabrik selalu dilengkapi dengan handbook/ buku petunjuk cara pemasangan perawatan, dan pengoperasiannya. Begitu juga dengan boiler yang ada di PT. Dhamasraya Palma Sejahtera terdapat buku petunjuk tentang spesifikasi pengoperasian, perawatan, pemasangan, dan lain-lain. Secara garis besar penulis akan menjelaskan pengoperasian boiler berdasarkan petunjuk yang ada dari buku petunjuk instruksi pengoperasian takuma boiler. Sebelum mengoperasikan boiler ada beberapa hal yang harus diperhatikan demi kelancaran dan keselamatan kerja. Tekanan boiler maksimum yang diijinkan.

2. Bahan bakar boiler

Biomassa adalah jumlah total berat kering bahan-bahan organik hidup yang terdapat di atas dan juga di bawah permukaan tanah. Komponen biomassa hutan sendiri terdiri dari biomassa hidup di atas dan di bawah permukaan tanah antara lain berupa pohon, semak belukar, semai, akar dan tumbuhan menjalar lainnya. Stok biomassa yang terdapat dalam tiap pohon atau tegakan hutan dapat berubah ubah. Perubahan stok biomassa dapat dipengaruhi oleh waktu dan gangguan terhadap hutan baik secara alami maupun akibat kegiatan manusia. (Brown 1997).

a. Cangkang Sawit

Sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut.



Gambar 1. Cangkang Sawit

b. Fiber Kelapa Sawit

Bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, apabila telah mengalami proses pengolahan berwarna coklat muda, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawit. minyak CPO terkandung. Fiber lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian fiber yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa water wall. (Lukito2010)



Gambar 2. Fiber Kelapa Sawit

3. Bom Kalorimetri Alat yang digunakan untuk jumlah kalor (nilai kalori) yang mengukur dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O₂ berlebih) suatu senyawa bahan bakar makanan,



Gambar3. 5E-C5500 Automatic Calorimeter

Cara kerja :

- Susun alat kalorimeter.
- Isi gelas kimia dengan 50ml NaOH.
- Isi gelas kimia dengan 50ml HCL 0,1M. Ukur dan catat suhu setiap larutan.
- Tuangkan 100ml NaOH 1M ke dalam

4. Siklus Rankine

Siklus merupakan rantaian dari beberapaproses yang dimulai dari suatu tingkat keadaan kemudian kembali ke tingkat keadaan semula dan terjadi secara berulang \ siklus rankine ideal adalah siklus yang untuk sistem pembangkit tenaga uap, siklus rankine terdiri dari empat proses internal reversible yang diilustrasikan pada Gambar 4 Moran.2004.



Gambar 4. Siklus Rankine ideal pada

T-s . Sumber : Cengal & Boles. 2022

Keterangan:

- Proses 1 – 2 : proses kompresi isentropic atau kerja pompa Air pada tingkat keadaan memasuki pompa 1 dikompresi isentropic dalam pompa menuju ke kondisi 2 dengan tekanan operasi boiler.

$$W_p = v_1 \times (p_2 - p_1)$$

- Proses 2 – 3 : proses penambahan panas pada tekanan konstan dalam ketel uap, Air menjadi uap pada tingkat keadaan 3 boiler merupakan penukar panas besar dimana

$$Q_{in} = h_3 - h_2$$

- Proses 3 – 4 : proses kerja ekspansi isentropik atau kerja keluaran turbin, Uap superheated pada tingkat keadaan 3 memasuki turbin dimana ia memperluas isentropik dan menghasilkan kerja.

$$W_T = h_3 - h_4$$

- Proses 4 – 1 : proses pelepasan panas pada tekanan konstan dalam tingkat keadaan 4 uap dan uap jenuh pada kondensor, Pada tau campuran air kualitas tinggi memasuki kondensor dan terkondensasi pada tekanan konstan dalam kondensor. Uap

meninggalkan kondensor sebagai cair jenuh dan memasuki pompa sebagai penyelesaian siklus.

$$Q_{out} = h_4 - h_1$$

- Efisiensi Boiler

Suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

- Nilai Kalor (Heating Value) Nilai kalor merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Ada dua jenis penentuan nilai pada bahan bakar (clup,1996)

$$\text{Efisiensi Boiler}(\eta) = \frac{\text{Pembentukan panas uap}}{\text{Panas masuk}}$$

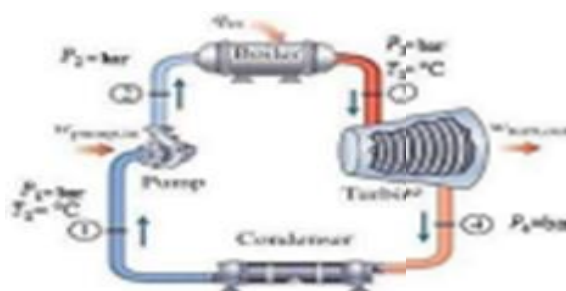
$$\text{Efisiensi Boiler}(\eta) = \frac{W_s (h_{\text{steam}} - h_{\text{water}})}{W_f \cdot \text{HHV}}$$

Keterangan :

- Ws : Kapasitas Produksi Uap
- hmain steam : Entalphi Uap (kkal/kg)
- hfeedwater : Entalphi Feedwater (kkal/kg)
- Wf : Konsumsi bahan bakar
- HHV : Nilali kalor bahan bakar (kkal/kg)

METODE

Lay Out Pengambilan



Gambar 5. Layout Pengambilan Data

Metode Perhitungan

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

- Mengumpulkan data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler.
- Melakukan pengujian sampel bahan bakar fiber dan cangkang sawit menggunakan bom kalorimeter.
- Mendapatkan nilai rata-rata dari parameter yang telah dikumpulkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Kalor

Hasil pengujian terhadap jenis bahan bakar fiber 100%, cangkang 100% dan komposisi fiber 70% + cangkang 30%, didapatkan nilai kalor pembakaran tinggi

(HHV) dan unsur unsur kimia bahan bakar. Data hasil pengujian laboratorium di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, ditampilkan dalam bentuk tabel :

Tabel 1. Data pengujian bahan bakar campuran 70 % fiber + 30% cangkang.

Report for Analysis Result of Calorific Value			
Equipment Model	SE-C5500	Analysis Date	2022-02-18
Sample Number	20200915A02	Ignition Heat	25.0 J
Sample Name	S70%+C30%	CCoefficient	-0.0099°C
Temp. Rise	1.8914°C	Heat Capacity	9940 J/K
Sample Weight	0.9700g		
Bomb Calorific Value (Qb)	19.255 MJ/kg	(4604.7 Cal/g)	
Qgr.v.d	19.232 MJ/kg	(4599.2 Cal/g)	
Qgr.v.ad	19.232 MJ/kg	(4599.2 Cal/g)	
Qnet.v.ar	19.232 MJ/kg	(4599.2 Cal/g)	
Qnet.p.ar	0.000 MJ/kg	(0.0 Cal/g)	

Tabel 2. Data pengujian bahan bakar fiber 100%.

Report for Analysis Result of Calorific Value			
Equipment Model	SE-C5500	Analysis Date	2022-02-18
Sample Number	20200915A02	Ignition Heat	25.0 J
Sample Name	S70%+C30%	CCoefficient	-0.0099°C
Temp. Rise	1.8914°C	Heat Capacity	9940 J/K
Sample Weight	0.9700g		
Bomb Calorific Value (Qb)	19.255 MJ/kg	(4604.7 Cal/g)	
Qgr.v.d	19.232 MJ/kg	(4599.2 Cal/g)	
Qgr.v.ad	19.232 MJ/kg	(4599.2 Cal/g)	
Qnet.v.ar	19.232 MJ/kg	(4599.2 Cal/g)	
Qnet.p.ar	0.000 MJ/kg	(0.0 Cal/g)	

Tabel 3. Data pengujian bahan bakar cangkang 100%

Report for Analysis Result of Calorific Value			
Equipment Model	SE-C5500	Analysis Date	2022-02-18
Sample Number	20200915A01	Ignition Heat	25.0 J
Sample Name	Cangkang	CCoefficient	-0.0073°C
Temp. Rise	1.8625°C	Heat Capacity	9940 J/K
Sample Weight	0.9940g		
Bomb Calorific Value (Qb)	18.527 MJ/kg	(4430.6 Cal/g)	
Qgr.v.d	18.503 MJ/kg	(4419.4 Cal/g)	
Qgr.v.ad	18.503 MJ/kg	(4419.4 Cal/g)	
Qnet.v.ar	18.503 MJ/kg	(4419.4 Cal/g)	
Qnet.p.ar	0.000 MJ/kg	(0.0 Cal/g)	

Dari hasil pengujian nilai kalor menggunakan alat uji bom calorimeter didapatkan hasil nilai kalor untuk bahan bakar.

- Campuran 70 % fiber + 30% cangkang sebesar 4604.7 cal/g .
- Cangkang 100 % sebesar 4430.6 cal/g .
- Fiber 100% sebesar 4433.5 cal/g

Hasil Pengambilan

Data Campuran 70 % fiber + 30% Cangkang Pada bagian ini, variabel perhitungan untuk mendapatkan nilai efisiensi water tube boiler adalah P.Uap superheater (bar), T.in feed water (°C), T.Out steam (°C) dan Steam flow (ton/jam) dari hari ke 1 sampai ke 7 yang di tampilkan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 4 Pengambilan Data Campuran 70 % fiber + 30% Cangkang

Hari	P.Uap (Bar)	T.in FeedWater (°C)		T.Out Steam (°C)	Steam Flow (Kg/Jam)	Pemakaian Bahan Bakar (kg/jam)
	Superheater	FeedWater	Doerator			
1	26,7	82,13	85,3	274	20,375	696,61
2	26,35	82,4	85,63	274,8	20,500	698,73
3	24,4	81,8	83,3	273,5	20,250	698,86
4	25,5	82,1	84,01	274,9	20,375	700,23
5	26,2	84,1	85,7	275,4	20,875	700,36
6	26,7	82,13	85,3	274	20,375	700,23
7	24,4	81,8	83,3	273,5	20,250	700,91
Rata-Rata Perminggu	25,8	82,2	84,7	274,3	20,375	699,41

Dari tabel rata-rata pengambilan data diatas, didapatkan nilai kalor bahan bakar yang digunakan perminggu, jumlah pemakaian bahan bakar dan nilai rata-rata data operasional water tube boiler sebagai berikut :

Data Bahan Bakar Campuran Fiber 70% + cangkang 30%..

Data hasil uji

- Ws = 20.375 Kg/Jam
- Puap = 25,8 bar
- Tsteam = 274,3 bar
- Twater = 82,2 °C
- Wf = 696,61 kg/jam
- HHV = 4604,7 Cal/g

Perhitungan Efisiensi Boiler:

- Dengan tabel A-4 Saturated water – Temperature tabel, entalpi air umpan (hwater) pada Twater = 82,2 °C, didapat 82,28 cal/gr.
- Dengan Tabel A-6 Superheated Water (Continued), entalpi uap (hsteam) pada Tu = 274,3 °C dan Pu= 3,5 Mpa. Di dapat 693,58 Cal/gr
- Efisiensi boiler(η)

$$\eta = \frac{W_s \cdot (h_{steam} - h_{water})}{W_f \cdot HHV} \times 100$$

$$\eta = \frac{20.375 \text{ kg/jam} (693,58 \text{ Cal/g} - 82,28 \text{ Cal/g})}{(696,61 \text{ Kg/jam} \cdot 4604,7 \text{ Cal/g})}$$

$$\eta = 49,5\%$$

Perhitungan Jumlah Konsumsi bahan bakar (Wf)

Data yang akan diolah dalam penelitian adalah data bulan Desember 2021 sampai Januari 2022 yang akan ditampilkan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 6. Data Pemakaian Bahan Bakar

No.	Total pemakaian 1 hari (Kg)		Total (Kg)	Kg/Shift	Kg/jam
	Fiber	Cangkang			
1	11.591	5.253	16.844	5614	701,75
2	18.984	0	18.984	6328	864,17
3	0	20.348	20.348	6783	801,26

Pembahasan

a. Nilai Kalor

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan tentang pengujian nilai kalor di laboratorium didapatkan nilai kalor energi panas pembakaran dari sampel campuran 70 % fiber + 30% cangkang sebesar 4604,7cal/g, cangkang 100 % sebesar 4430,6 cal/g dan fiber 100% sebesar 4433,5 cal/g.

b. Pemakaian bahan bakar Dari hasil perhitungan dan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pemakaian bahan bakar tertinggi menggunakan jenis bahan bakar fiber dan terendah menggunakan bahan bakar campuran. Perbedaan konsumsi bahan bakar disebabkan oleh perbedaan panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar yang terjadi terjadi di dalam ruang bakar ketel (boiler) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap.

c. Grafik Dari pembahasan diatas untuk melihat setiap perbedaan nilai kalor dan pemakaian bahan bakar dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



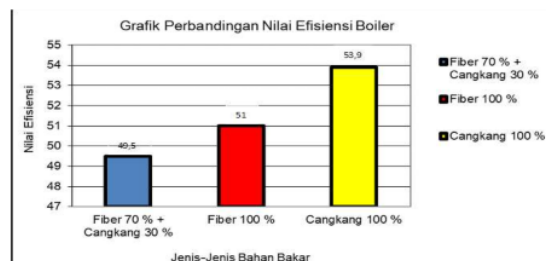
Gambar 6 Grafik Perbandingan Pemakaian B.Bakar Boiler



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Kalor

Dari Analisa diatas dapat diketahui bahwa Nilai kalor bahan bakar boiler memiliki nilai yang berbeda. Nilai kalor bahan bakar campuran 70% fiber + 30%. cangkang memiliki nilai tertinggi yaitu 4604,7 cal/g, dengan pemakaian bahan bakar sebesar 701,75 kg/jam, Nilai kalor bahan fiber 100% memiliki nilai 4433,5 cal/g, dengan pemakaian bahan bakar sebesar 791 kg/jam

sedangkan nilai kalor terendah yang dihasilkan sebesar 4430,6 dengan menggunakan bahan bakar campuran 70 % fiber dan 30 % cangkang. cal/g dengan menggunakan bahan bakar cangkang 100% dengan pemakaian bahan bakar sebesar 847,87 kg/jam. Untuk pemakaian bahan bakar tertinggi menggunakan jenis bahan bakar cangkang 100%.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Efisiensi boiler

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa nilai efisiensi boiler memiliki nilai yang berbeda. Nilai efisiensi boiler menggunakan bahan bakar fiber 70% dan cangkang 30% sebesar 49,5 %, Nilai efisiensi boiler menggunakan bahan bakar fiber 100% sebesar 51 % dan Nilai efisiensi boiler menggunakan bahan bakar Cangkang 100% sebesar 53,9 %

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh beberapa point penting yang dapat penulis kemukakan, antara lain :

- a. Pengoprasian yang baik dan sesuai dengan (SOP) yang ditetapkan boiler semakin aman akan membuat baik dari sisi penggunaan (operator) maupun boiler itu sendiri.
- b. Dari hasil pengujian laboratorium dihasilkan nilai kalor bahan bakar fiber 100% adalah 4433,5 Cal/g, bahan bakar cangkang 100% adalah 4430,6 Cal/g, sedangkan bahan bakar campuran fiber 70% dan cangkang 30% memiliki nilai kalor tertinggi yaitu 4604,7 Cal/g.
- c. Nilai efisiensi boiler tertinggi yang dihasilkan sebesar 53,9 % menggunakan bahan bakar cangkang 100 %, efisiensi menggunakan bahan bakar fiber 100 % sebesar 51 % dan nilai efisiensi boiler terendah yang dihasilkan sebesar 49,5 % dengan menggunakan bahan bakar campuran 70 % fiber dan 30 % cangkang.

DAFTAR PUSTAKA

[1]Ago Nur Hamsah.2017 melakukan skripsi tentang Analisa Efisiensi Water Tube Boiler berbahan bakar bagasse dan sekam di pabrik gula dengan kapasitas 45 Ton/jam.
 [2]Cengel Yunus A. And Michael A. Boles . 2002. "Thermodynamics AndEngineering Approach". Third Edition. McGraw-Hill Inc.

- [3] Dosma Putra Lumban Gaol.2015 melakukan penelitian tentang Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar Fiber, Cangkang Sawit Dan Kulit Kayu Menggunakan Metode Langsung.
- [4] M J Djokosetyardjo, Ketel Uap, PT. Pradnya Paramita, 1993. Muin A.Syamsir.1988.“Pesawat-pesawat Konversi Energi I (ketel Uap)”, Edisi Pertama, Penerbit CV. Rajawali, Jakarta.
- [5] Silalahi Abel, Dasar-dasar Ketel Uap, ITN Malang, 1977.
- [6] Siswanto, Edi Jatmiko. “ Analisa Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler Dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit “ *Journal of Electrical Power Control and Automation*. 3(1), Juni 2020, 22-27.
- [7] Yolanda Pravitasari dan Mariana B.Malinoa.2017 melakukan penelitian tentang Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung.
- [8] Jatmiko Edi Siswanto Analisa Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pembakaran terhadap Efisiensi Pengujian pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium *Journal of Electrical Power Control and Automation*. Vol 5, No 1 (2022)
- [9] Jatmiko Edi Siswanto Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium Dengan Bahan Bakar LPG *Journal of Electrical Power Control and Automation*. Vol 4, No 1 (2021)