

**ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)
(STUDI KASUS PLTU HARJOHN TIMBER KUBU RAYA)**

A. Singko¹⁾, Yandri²⁾, Kho Hie Khwee³⁾
^{1,2,3,4)}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
Jln. Prof. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Indonesia
Email: alsingko@gmail.com, yandri.hasan@ee.untan.ac.id, andreankho@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Harjohn Timber menggunakan generator turbin uap berkapasitas 7,5 MW. Secara aktual, daya yang dibangkitkan tidak statik pada nilai kapasitas generator turbin uap tersebut. Hingga saat ini PT. Harjohn Timber telah beroperasi selama 15 tahun dan telah mengalami banyak perubahan yang disebabkan adanya permasalahan, sehingga dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifik pada efisiensi turbin dan generator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai spesifikasi efisiensi turbin uap pada kondisi nominal, untuk mengetahui efisiensi generator berdasarkan variasi beban, dan untuk mengetahui perbandingan konsumsi penggunaan bahan bakar kayu dengan bahan bakar batu bara pembangkit listrik PT. Harjohn Timber. Metode perhitungan menggunakan program aplikasi termodinamika *ChemicalLogic SteamTab* dalam mencari parameter nilai entalpi dan perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik. Setelah dilakukan analisis didapat nilai efisiensi nominal turbin uap sebesar 94,5%. Nilai kerja turbin uap yang paling tinggi berdasarkan nilai rata-rata operasi, yaitu pada bulan ke-3, penelitian dengan nilai sebesar 5.535,81 kW dari nilai spesifikasi 7.088 kW. Sedangkan nilai operasi rata-rata efisiensi generator yang paling tinggi mencapai 94,17%, terjadi pada bulan ke-2 penelitian dan efisiensi terendah saat pada bulan ke-3 penelitian dengan nilai sebesar 82,73 %. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) batu bara didapat nilai tertinggi pada bulan ke-5 menghasilkan nilai bruto 0,6798 kg/kWh dan nilai netto 0,8181 kg/kWh. Sedangkan nilai terendah pada bulan ke -6 yaitu dengan nilai bruto 0,4824 kg/ kWh dan nilai netto 0,6041 kg/kWh. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) kayu didapat nilai tertinggi pada bulan ke-5 menghasilkan nilai bruto 0,4911 kg/kWh dan nilai netto 0,5910 kg/kWh. Sedangkan nilai terendah pada bulan ke -6 yaitu dengan nilai bruto 0,3440 kg/kWh dan nilai netto 0,4308 kg/ kWh. Semakin tinggi total energi yang dihasilkan maka nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) akan semakin rendah. Sebaliknya semakin rendah total energi yang dihasilkan maka nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) akan semakin tinggi.

Kata kunci : PLTU, Batu Bara, Kayu, Turbin Generator

ABSTRACT

Steam Power Plant PT. Harjohn Timber uses a steam turbine generator with a capacity of 7.5 MW. Actually, the power generated is not static at the value of the steam turbine generator capacity. Until now PT. Harjohn Timber has been operating for 15 years and has undergone many changes due to problems, which can reduce the efficiency of the unit in general and specifically the efficiency of the turbine and generator. This study aims to determine the value of the efficiency specifications of the steam turbine at nominal conditions, to determine the efficiency of the generator based on load variations, and to compare the consumption of wood fuel consumption with coal fuel for PT. Harjohn Timber. The calculation method uses the ChemicalLogic SteamTab thermodynamics application program to find the enthalpy value parameter and calculate the specific fuel consumption. After the analysis, the nominal efficiency value of the steam turbine is 94.5%. The highest working value of the steam turbine is based on the average operating value, which is in the 3rd month of the study with a value of 5,535.81 kW from the specification value of 7,088 kW. While the operating value of the highest efficiency of the generator reached 94.17%, occurred in the 2nd month of the study and the lowest efficiency was in the 3rd month of the study with a value of 82.73%. The value of specific fuel consumption (SFC) of coal obtained the highest value in the 5th month resulting in a gross value of 0.6798 kg/kWh and a net value of 0.8181 kg/kWh. While the lowest value in the 6th month is with a gross value of 0.4824 kg/kWh and a net value of 0.6041 kg/kWh. The value of wood specific fuel consumption (SFC) obtained the highest value in the 5th month resulting in a gross value of 0.4911 kg/kWh and a net value of 0.5910 kg/kWh. While the lowest value in the 6th month is with a gross value of 0.3440 kg/kWh and a net value of 0.4308 kg/kWh. The higher the total energy produced, the lower the Specific Fuel Consumption (SFC) value. On the other hand, the lower the total energy produced, the higher the Specific Fuel Consumption (SFC) value.

Keywords : PLTU, Coal, Wood, Turbine Generator

1. PENDAHULUAN

PT. Harjohn Timber Kubu Raya merupakan industri *plywood* di Kalimantan Barat yang berhasil mendapatkan penghargaan Energi pertama pada tahun 2011, karena telah berhasil memprakarsai dan mengembangkan limbah kayu sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Limbah biomassa yang dihasilkan dari produksi pabrik kayu setiap harinya berjumlah cukup besar. Penangannya juga membutuhkan biaya yang besar. Sisa-sisa limbah kayu bisa diolah kembali menjadi bahan bakar kayu yang dapat menghasilkan energi listrik. Salah satunya PT. Harjohn Timber Kubu Raya memanfaatkan limbah kayu sebagai bahan bakar tenaga listrik.

PT. Harjohn Timber menggunakan 2 jenis pembangkit listrik yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Akan tetapi pada saat ini PT. Harjohn Timber hanya menggunakan PLTBm sebagai tenaga listrik utama produksi *plywood* dan sisa kelebihan dijual ke PLN dan ke pabrik. Sedangkan PLTD hanya dioperasikan pada kondisi tertentu, contohnya saat pemeliharaan boiler/turbin yang tidak memungkinkan PLTBm untuk beroperasi. PT Harjohn Timber menggunakan generator turbin uap berkapasitas 7.5 MW. Secara aktual, PT. Harjohn Timber daya listrik yang dibangkitkan tidak statik pada nilai kapasitas generator turbin uap tersebut. Kondisi saat ini PLTBm telah beroperasi selama 15 tahun dan telah mengalami banyak permasalahan, sehingga dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi boiler, turbin dan generator.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Menurut Akhdiyatul *et al.*, (2018) menyatakan di kabupaten Ketapang terdapat 20 Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang sudah beroperasi, dengan potensi limbah 444,58 ton/hari. Jika Harris *et al.*, (2013), mengemukakan bahwa saat menggunakan bahan bakar cangkang PLTU 6 MW menghasilkan output rata-rata sebesar 4,8 MW/jam dan dalam 1 MW output membutuhkan 1,02 ton cangkang dan pada saat menggunakan bahan bakar fiber PLTU 6 MW menghasilkan output rata-rata 2,3 MW/jam, dalam 1 MW output membutuhkan 1.83 ton fiber. Dapat diasumsikan dari 444,58 ton/hari limbah padat dan 9% atau 90,9 tonnya adalah cangkang, maka energi listrik yang dihasilkan adalah sebesar 92,7 MW/jam. Dengan kata lain PLTU PT. Suka Jaya Makmur yang berkapasitas 7,5 MW hanya membutuhkan 7,6 ton/jam cangkang. Namun demikian dalam penelitian ini kebutuhan cangkang akan dihitung berdasarkan kebutuhan kalor yang diperlukan oleh boiler.

Pane *et al.*, (2016) menyimpulkan bahwa Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang berkapasitas produksi 60 ton tbs/jam dapat membangkitkan daya listrik sekitar 3,61 MW dari limbah padat sedangkan limbah cair PKS menghasilkan biogas yang berpotensi membangkitkan daya listrik sekitar 1,45 MW. Biaya pembangkitan energi listrik berbahan bakar

limbah padat PKS adalah sekitar Rp.714,64/kWh dan biaya pembangkitan energi listrik berbahan bakar biogas limbah cair PKS adalah sekitar Rp. 1.106,04/kWh. Biaya pembangkitan energi listrik setiap PLTU relatif, tergantung dari biaya pembelian bahan bakar dan biaya tetap lainnya.

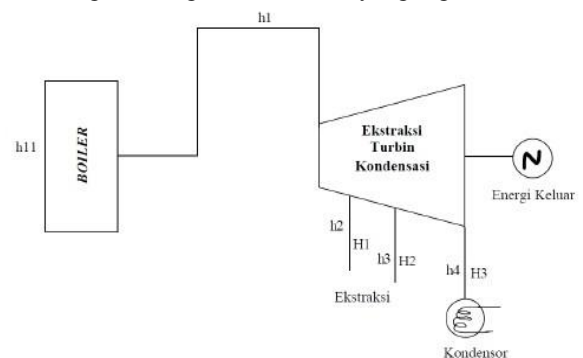
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU merupakan salah satu pembangkit listrik utama yang ada di Indonesia karena dapat menghasilkan energi listrik yang besar dengan bahan baku air dan bahan bakar yang fleksibel, yaitu bisa dengan batu bara, minyak, sawit, bahkan sampah menjadikan PLTU sebagai pembangkit dengan biaya produksi yang murah (Prayudi, 2013).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit yang menggunakan uap sebagai media pemutar sudu-sudu turbin. Dimana uap yang digunakan adalah uap kering (Superheated Steam). Siklus kerja PLTU sama seperti siklus Rankine yang sudah dimodifikasi, dimana siklus dimulai dari air masuk ke economizer dan boiler furnace, kemudian terjadi pembakaran dan air berubah menjadi uap jenuh, uap jenuh dikirim ke superheater yang memanfaatkan panas radiasi di furnace untuk mengubah uap jenuh menjadi uap kering. Uap kering ini dikirim ke turbin dan dimanfaatkan kecepatan uapnya untuk menggerakkan sudu turbin dan memutar generator. Pada PLTU Suralaya, pembakaran dan pemanasan air menjadi uap itu dihasilkan dari pembakaran batubara sebagai bahan bakar utama (Prayudi, 2013).

2.3 Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan.



Gambar 1. Neraca entalpi turbin uap

Apabila uap air di dalam turbin ada yang dikeluarkan sebagai uap bocoran turbin (*extraction steam*) untuk memanasi air pengisi ketel dalam *feedwater heater* dengan (m) adalah laju aliran uap dan (h) adalah entalpi pada titik-titik tertentu.

Maka persamaan untuk menghitung kerja aktual turbin dalam kJ/hr adalah ;

$$W_T = m (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (1)$$

Sedangkan untuk mencari daya aktual yang dihasilkan oleh turbin dilakukan dengan mengalikan energi yang dihasilkan oleh turbin dengan efisiensi turbin, ditunjukkan pada persamaan :

$$W_{Tactual} = W_T \times \eta_{turbin} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

$W_{Tactual}$: Daya aktual turbin (MW)

η_{turbin} : Efisiensi turbin (%)

2.4 Generator

Generator adalah mesin yang mengelola energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah rotor generator yang digerakan oleh turbin sehingga menimbulkan tenaga listrik. Sumber energi untuk menggerakkan turbin terdiri dari berbagai macam sumber, antara lain adalah uap, air, gas, mesin diesel dan lain-lain. Kegunaan dari generator adalah sebagai sumber tenaga listrik untuk kebutuhan penggunaan alat atau beban seperti pompa air, pompa minyak, penerangan dan lain-lain.

Untuk menghitung efisiensi generator adalah dengan membandingkan daya keluaran generator dan daya masukan generator, dimana daya masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan turbin, seperti persamaan di bawah ini :

$$\eta_{gen} = \frac{Beban}{W_{Tactual}} \times 100 \% \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

η_{gen} : Efisiensi generator (%)

Beban : Daya generator (MW)

$W_{Tactual}$: Daya aktual turbin (MW)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Harjohn Timber yang berada di daerah Kabupaten Kubu Raya. Adapun kegiatan penelitian ini dilaksanakan selama ±45 hari.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu boiler, turbin uap, generator, dan alat-alat tulis serta kamera sebagai dokumentasi. Sedangkan untuk bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini bahan bakar seperti kayu dan bahan bakar batu bara.

3.3 Variabel atau Data

Variabel data yang diamati dalam penelitian ini adalah konsumsi bahan bakar spesifik.

Berdasarkan SPLN No. 80 tahun 1989, persamaan yang digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik adalah sebagai berikut :

1. Persamaan pemakaian bahan bakar spesifik bruto (SFC_b)

$$SFC_b = \frac{qf}{kWh_b} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

SFC_b = Konsumsi bahan bakar spesifik bruto (kg/kWh)

qf = jumlah bahan bakar yang dipakai (kg)

kWh_b = Data yang dihasilkan oleh generator (kWh)

2. Pemakaian bahan bakar spesifik netto (SFC_n)

$$SFC_n = \frac{qf}{kWh_n} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

SFC_n = Konsumsi bahan bakar spesifik netto (kg/kWh)

qf = jumlah bahan bakar yang dipakai (kg)

KWh_n = Data yang dihasilkan generator dikurangi oleh penggunaan sendiri (kWh)

Untuk menghitung produksi kWh dapat menggunakan persamaan berikut:

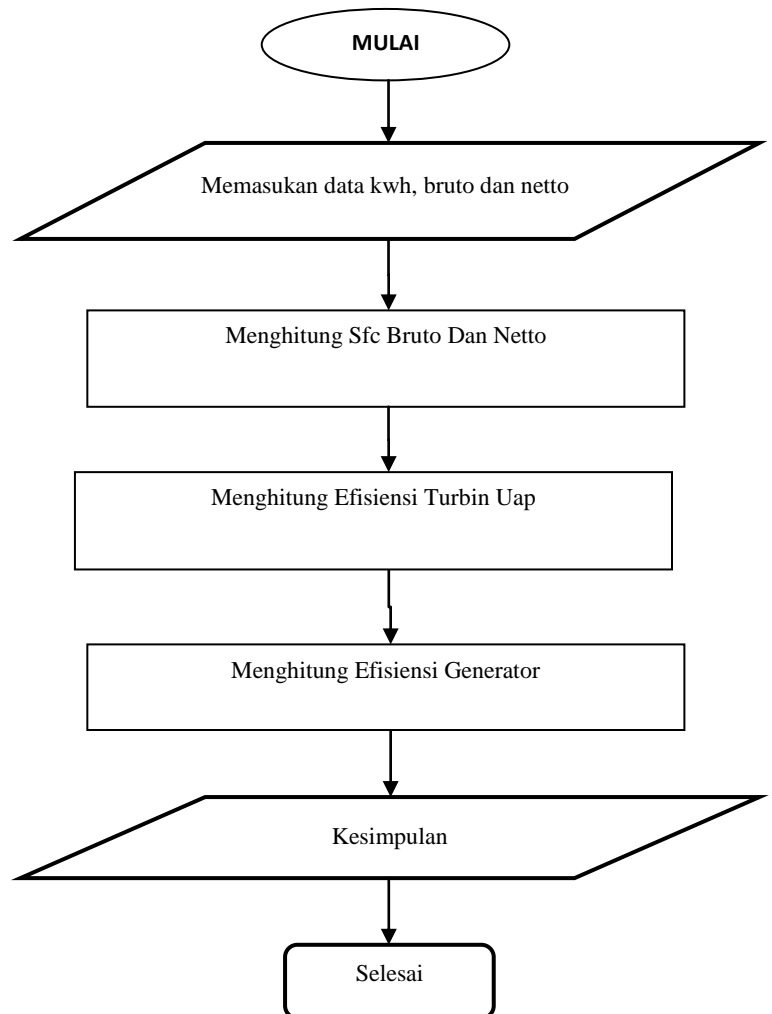
$$kWh = W \times 1000 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana : kWh = Jumlah produksi beban (kWh)

W = Total energi yang dibangkitkan (MWh)

3.4 Diagram Alir Penelitian

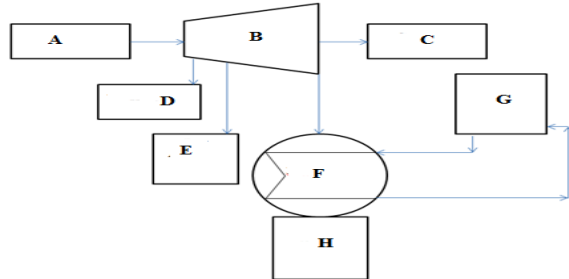
Diagram alir penelitian dalam skripsi ini digunakan pada gambar flowchart dibawah ini:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PT. Harjohn Timber Kubu Raya



Gambar 3 Sistem PLTU PT. Harjohn Timber

Keterangan Gambar 3 :

- Boiler** digunakan untuk menghasilkan uap tekanan tinggi. Air di dalam boiler dipanaskan hingga menjadi uap *superheated*. Uap yang dihasilkan digunakan untuk proses di dalam turbin.
- Turbin** yang digunakan untuk mengubah energi potensial uap menjadi gerak putar. Energi potensial uap berasal dari boiler.
- Generator** untuk menghasilkan listrik dari gaya putar turbin uap yang dikopel ke generator, putaran generator menghasilkan listrik.
- Heat Pressure Heater** digunakan untuk memanaskan kembali air umpan sebelum masuk *economizer*. Penggunaan *Heat Pressure Heater* bertujuan untuk menghemat bahan bakar boiler.
- Low Pressure Heater** digunakan untuk memanaskan air kondensat sebelum masuk ke *deaerator*.
- Kondenser** digunakan untuk mengubah uap menjadi air dengan metode perpindahan panas antara uap dan air pendingin dari *cooling tower*.
- Cooling Tower** atau menara pendingin merupakan tempat penghasil air pendingin yang akan disirkulasikan ke dalam kondenser.
- Hotwell** yaitu tangki penampung air hasil kondensasi.

4.2 Data Spesifikasi Teknis

4.2.1. Boiler

Boiler merupakan peralatan utama yang diperlukan dalam proses konversi energi panas pembakaran bahan bakar menjadi energi kinetis uap. Berikut adalah spesifikasi teknis boiler yang digunakan di PLTBm PT. Harjohn Timber Kubu Raya :

Tabel 1. Spesifikasi Boiler

Manufaktur	: WU XI HUAGUANG
	type UG-50/3.82-MT
Bahan bakar	: Wood + Coal
Kapasitas boiler	: 50 t/h
Tekanan maksimal	: 3,82 MPa
Temperatur maksimal	: 450 °C
Efisiensi	: 81 %

4.2.2. Turbin Uap

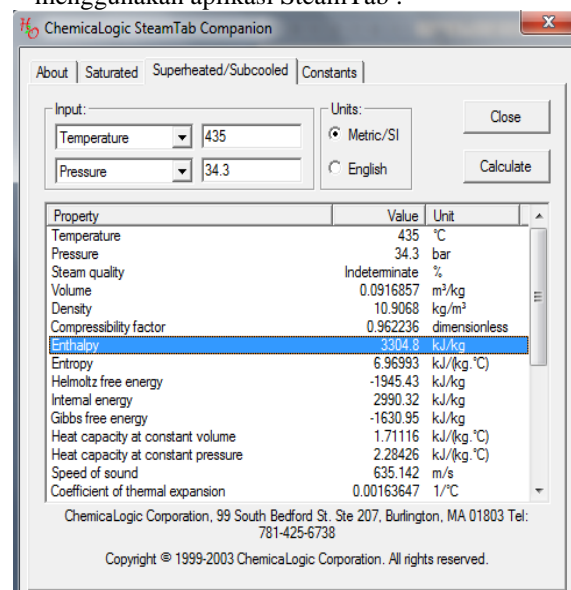
Turbin yang digunakan pada PLTBm di PT. Harjohn Timber Kubu Raya adalah turbin ekstraksi dengan kondensasi (Extraction Condensing Turbine) dengan merk pabrikan Qingdao Jieneng Steam Turbine model C7.5-3.43/1.27 kapasitas 7,5 MW.



Gambar 4. Spesifikasi teknis turbin uap di PLTU PT. Harjohn Timber

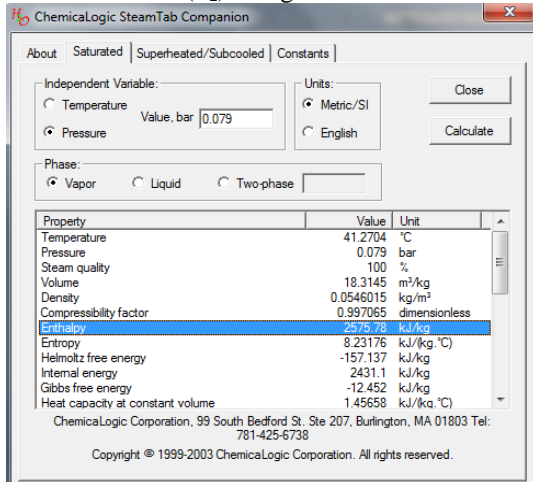
Turbin beroperasi dengan sebagian uap bekas dimanfaatkan untuk keperluan ekstraksi dan sebagian lagi untuk penyediaan air pengisi boiler. Adapun parameter data yang diperlukan dari spesifikasi teknis untuk menghitung daya atau kerja aktual turbin adalah Laju Aliran Massa (*extraction flow*) dan juga entalpi dari input parameter Tekanan dan Temperatur. Berikut adalah perhitungan kerja aktual turbin uap secara spesifikasi :

- Mencari nilai entalpi inlet (h_1) dengan parameter Tekanan Inlet (P_1) dan Suhu Inlet (T_1) menggunakan aplikasi SteamTab :



Gambar 5. Nilai entalpi inlet (h_1) kerja aktual turbin berdasarkan aplikasi *chemicallogic steamtab*

- b. Mencari nilai entalpi outlet (h_2) dengan parameter Tekanan Outlet (P_2) sebagai berikut :



Gambar 6 Nilai entalpi outlet (h_2) kerja aktual turbin

- c. Mencari nilai kerja aktual turbin (W_t) secara spesifikasi :

$$W_t = m(h_1 - h_2)$$

$$W_t = 35000 \left[\frac{kg}{h} \right] (3304,8 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 2575,78 \left[\frac{kJ}{kg} \right])$$

$$W_t = 35000 \left[\frac{kg}{h} \right] \times 729,02 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$W_t = 25515700 \left[\frac{kJ}{h} \right]$$

$$W_t = 7088 \text{ kW} \quad (1 \text{ kJ/h} = 2.7777778 \times 10^{-7} \text{ MW})$$

- d. Efisiensi Turbin Uap berdasarkan spesifikasi :

$$\eta_{turbin} = \frac{7088 \text{ kW}}{7500 \text{ kW}} \times 100 \%$$

$$\eta_{turbin} = 94,5 \%$$

4.2.3. Generator

Generator atau alternator merupakan komponen utama pembangkit listrik yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

PT. Harjohn Timber Kubu Raya menggunakan generator turbin uap berkapasitas 7,5 MW. Berikut adalah tabel yang menunjukkan spesifikasi teknisnya :

Tabel 3. Spesifikasi Turbo-Generator

Merk	: Jinan Power
Rated voltage	: 6300 V
Rated current	: 859 A
Rated speed	: 3000 rpm
Rated frequency	: 50 Hz
Rated power	: 7500 KW
Exciting current	: 247 A
Power factor	: 0,8

4.3 Gross Calorific Value (GCV)

Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) PT. Harjohn Timber Kubu Raya menggunakan bahan baku utama limbah kayu didalam melakukan produksi energi listrik. Hal ini sesuai dengan komoditi perusahaan yang bergerak di bidang *plywood* sehingga perusahaan dapat menghemat biaya produksi listrik.

Limbah kayu sebelum masuk ke tungku pembakaran, dihancurkan terlebih dahulu menggunakan mesin penggiling yang disebut dengan *wood crusher*. Limbah kayu yang sudah dihancurkan menjadi serbuk tersebut dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, sehingga parameter *Gross Calorific Value (GCV)* dalam melakukan perhitungan efisiensi digunakanlah *GCV* dari serbuk kayu tersebut. Berdasarkan penelitian dengan korelasi *Tillman*, dengan tingkat kesalahan 21,21 %, nilai kalor dari serbuk kayu dalam satuan *High Heating Value (HHV)* adalah sebesar 24,85 MJ/kg. Jika dikonversikan ke dalam satuan *GCV*, maka nilainya menjadi 5940,44 kcal/kg (1 kcal = 4148 J). Sedangkan nilai *GCV* dari batu bara yang digunakan sebagai penguat panas dalam proses pembakaran adalah sebesar 4675,72 kcal/kg.

4.4 Proximate dan Ultimate Biomassa

Untuk mengetahui karakteristik, sifat fisik, sifat kimia suatu biomassa dapat dilakukan dengan analisis *proximate* dan *ultimate*. Hasil analisis *proximate* dan *ultimate* biomassa limbah kayu dan batubara ditunjukkan pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Analisis Proximate dan Ultimate

	Serbuk Kayu	Batubara	Nilai Rata-Rata
Analisis Proximate (%w dry basis)			
Komponen volatile	78,33	29,79	54,06
Karbon tetap	15,41	46,79	31,1
Abu	2,39	13,99	8,19
Analisis Ultimate (%w dry basis)			
Karbon (C)	45,48	58,96	52,22
Hidrogen (H)	5,11	4,16	4,635
Nitrogen (N)	0,42	1,02	0,72
Oksigen (O)	46,38	11,88	29,13
Sulfur (S)	0,22	0,56	0,39

4.5 Data Hasil Perhitungan

4.5.1. Bahan Bakar Batu Bara

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai konsumsi spesifik bahan bakar (SFC) batu bara baik bruto maupun netto. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mencari nilai SFC bruto dan SFC netto batu bara menggunakan sampel data yang beroperasi pada bulan ke -1 tahun 2020.

❖ Beroperasi pada bulan ke -1 tahun 2020

- a. Pemakaian bahan bakar spesifik bruto (SFC_b)

$$Sfc_b = \frac{Q_f}{kWh_b}$$

$$Q_f = 1.808.000 \text{ kg}$$

$$kWh_b = 3.224.624,4 \text{ kWh}$$

$$Sfc_b = \frac{Q_f}{kWh_b}$$

$$= \frac{1.808.000}{3.224.624,4}$$

$$Sfc_b = 0,5607 \text{ kg/kWh}$$

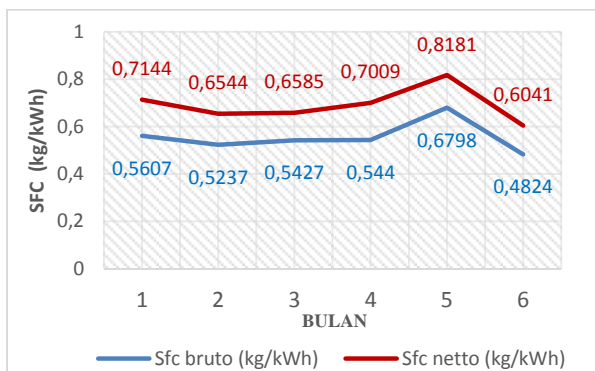
b. Pemakaian bahan bakar spesifik netto (SFC_n)

$$\begin{aligned}
 Sfc_n &= \frac{Qf}{kWh_n - kWh_{ps}} \\
 Qf &= 1808.000 \\
 kWh_n &= kWh_b - kWh_{ps} \\
 &= 3.224.642,4 kWh - 693.978,4 kWh \\
 &= 2.530.664 kWh \\
 Sfc_n &= \frac{Qf}{kWh_n} \\
 &= \frac{1.808.000}{2.530.664} \\
 &= 0,7144 \text{ kg/kWh}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel dan grafik yang menjelaskan nilai Sfc bruto dan netto bahan bakar batu bara secara keseluruhan selama 6 bulan penelitian. Kemudian untuk mencari nilai Sfc bruto dan netto bahan bakar batu bara bulan ke 2,-3, 4, 5 dan bulan ke -6 merujuk pada perhitungan bulan ke -1 ditunjukkan oleh tabel 4.5.

Tabel 4. Data masukan dan perhitungan konsumsi spesifik bahan bakar batu bara

Bulan	Total Energi Dihakikan	Daya	Batu Bara	Pemakaian	Sfc bruto	Sfc netto
	(kWh)	(KW)	(kg)	(kWh)	(kg/kWh)	(kg/kWh)
1	3.224.642,4	4.334	1.808.000	693.978,4	0,5607	0,7144
2	3.520.692,0	5.058	1.843.710	703.493,0	0,5237	0,6544
3	3.418.934,4	4.595	1.855.500	601.390,4	0,5427	0,6585
4	3.416.515,2	4.745	1.858.800	764.858,2	0,5440	0,7009
5	2.888.071,2	3.882	1.963.300	488.257,2	0,6798	0,8181
6	4.004.834,4	5.562	1.932.000	806.888,4	0,4824	0,6041



Gambar 7. Grafik SFC bruto dan netto batu bara

Berdasarkan Gambar 7. diketahui konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) bruto dan netto batu bara di dapat hasil terendah adalah saat pembangkit beroperasi pada bulan ke -6 menghasilkan nilai konsumsi speifik bahan bakar (SFC) bruto sebesar 0,4824 kg/kWh dan nilai konsumsi spesifik bahan bakar (SFC) netto sebesar 0,6041 kg/kWh. Sedangkan SFC bruto dan netto tertinggi adalah saat pembangkit beroperasi pada bulan ke -5 dimana nilai SFC bruto sebesar 0,6798 kg/kWh dan nilai SFC netto sebesar 0,8181 kg/kWh.

4.5.2. Bahan Bakar Kayu

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai konsumsi spesifik bahan bakar (SFC) kayu baik bruto maupun netto. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mencari nilai SFC bruto dan SFC netto bahan bakar kayu menggunakan sampel data yang beroperasi pada bulan ke -1

❖ Beroperasi pada bulan ke -1 tahun 2020

a. Pemakaian bahan bakar spesifik bruto (SFC_b)

$$\begin{aligned}
 Sfc_b &= \frac{Qf}{kWh_b} \\
 Qf &= 1.570.964 \text{ kg} \\
 kWh_b &= 3.224.624,4 kWh \\
 Sfc_b &= \frac{Qf}{kWh_b} \\
 &= \frac{1.570.964}{3.224.624,4} \\
 Sfc_b &= 0,4871 \text{ kg/kWh}
 \end{aligned}$$

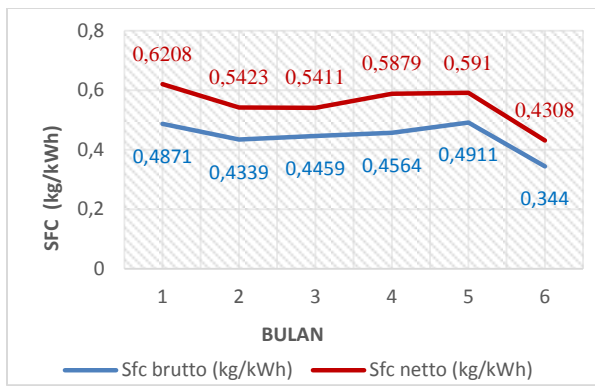
b. Pemakaian bahan bakar spesifik netto (SFC_n)

$$\begin{aligned}
 Sfc_n &= \frac{Qf}{kWh_n - kWh_{ps}} \\
 Qf &= 1.570.964 \\
 kWh_n &= kWh_b - kWh_{ps} \\
 &= 3.224.642,4 kWh - 693.978,4 kWh \\
 &= 2.530.664 kWh \\
 Sfc_n &= \frac{Qf}{kWh_n} \\
 &= \frac{1.570.964}{2.530.664} \\
 &= 0,6208 \text{ kg/kWh}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel dan grafik yang menjelaskan nilai SFC bruto dan netto bahan bakar kayu secara keseluruhan selama 6 bulan penelitian. Kemudian untuk mencari nilai SFC bruto dan netto bahan bakar kayu pada bulan ke -2, 3, 4, 5 dan bulan ke -6 merujuk pada perhitungan bulan ke -1 ditunjukkan oleh tabel 4.6.

Tabel 5. Data masukan dan perrhitungan konsumsi spesifik bahan bakar (Kayu)

Bulan	Total Energi Dihakikan	Daya	Kayu	Pemakaian	Sfc bruto	Sfc netto
	(kWh)	(KW)	(kg)	(kWh)	(kg/kWh)	(kg/kWh)
1	3.224.642,4	4.334	1.570.964	693.978,4	0,4871	0,6208
2	3.520.692,0	5.058	1.527.717	703.493,0	0,4339	0,5423
3	3.418.934,4	4.595	1.524.844	601.390,4	0,4459	0,5411
4	3.416.515,2	4.745	1.559.293	764.858,2	0,4564	0,5879
5	2.888.071,2	3.882	1.418.331	488.257,2	0,4911	0,5910
6	4.004.834,4	5.562	1.377.788	806.888,4	0,3440	0,4308



Gambar 8. Grafik SFC bruto dan netto kayu

Berdasarkan gambar 8. di ketahui konsumsi bahan bakar (SFC) bruto dan netto kayu terendah adalah saat pembangkit beroperasi pada bulan ke ke -6 menghasilkan nilai SFC bruto sebesar 0,3440 kg/kWh dan nilai SFC netto sebesar 0,4308 kg/kWh. Sedangkan SFC bruto dan netto tertinggi adalah saat pembangkit beroperasi pada bulan ke -5 dimana nilai SFC bruto sebesar 0,4911 kg/kWh dan nilai SFC netto sebesar 0,5910 kg/kWh.

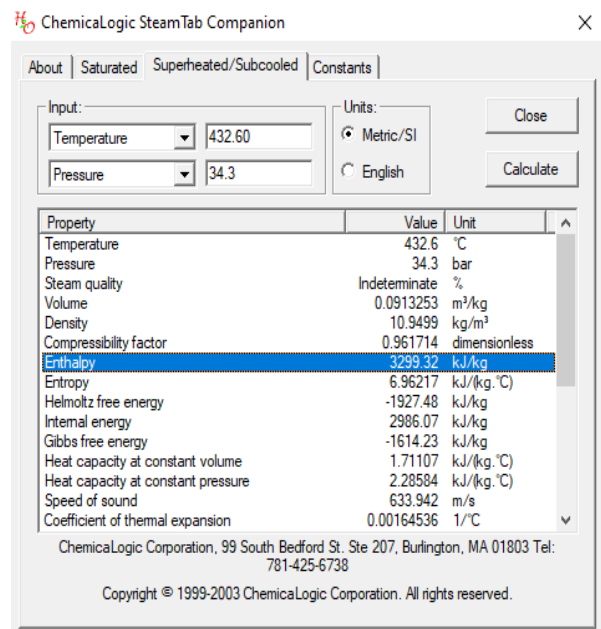
4.5.3. Efisiensi Turbin Uap

Pengumpulan data tekanan, laju aliran masa, dan temperatur pada turbin uap, diambil di CCR (*Central Control Room*) yang dijelaskan melalui tabel berikut :

Tabel 6. Data Tekanan, Laju Uap, dan Temperatur

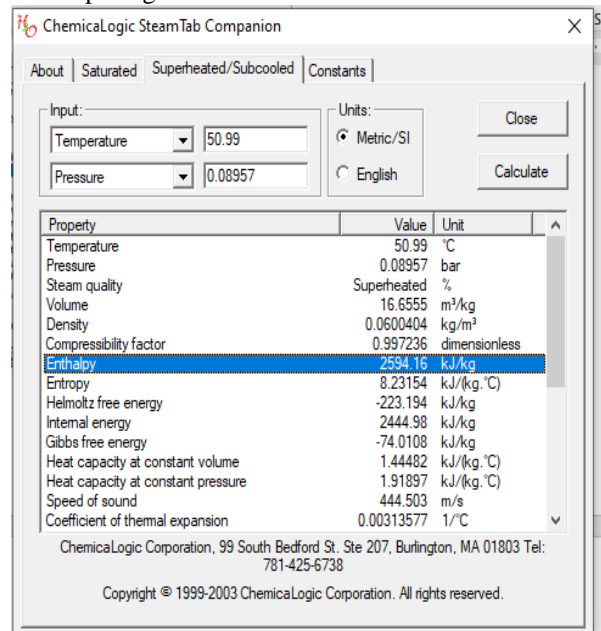
Bulan ke -	Month (Shift)	Laju aliran	Tekanan	Suhu	Tekanan	Suhu
		masa (m)	masuk (P1)	masuk (T1)	keluar (P2)	keluar (T2)
		Ton/h	Mpa	°C	MPa	°C
1	7 Pagi	28,62	3,43	432,60	0,089578	50,99
2	7 sore	27,47	3,33	429,78	0,08897	49,88
3	8 pagi	28,88	3,44	442,01	0,088245	49,01
4	8 sore	29,91	3,39	444,44	0,089542	50,32
5	6 pagi	27,70	3,37	435,67	0,087844	51,87
6	6 sore	28,27	3,32	437,38	0,089441	52,09

Untuk menghitung efisiensi turbin uap yaitu dengan mencari nilai entalpi dari parameter tekanan (P) dan Suhu (T), dengan menggunakan aplikasi chemical logic. Untuk perhitungannya diambil dari contoh dalam mencari data nilai entalpi pada bulan pertama dengan nilai rata-rata tekanan masuk adalah P1 = 3,43 MPa (34,3 bar), dan nilai suhu masuk turbin rata-rata T1 (432,60)°C. maka didapatkan nilai entalpi h1 dengan menggunakan aplikasi *chemical logic steam tab* sebagai berikut :



Gambar 9. Nilai entalpi h₁ penelitian bulan pertama

Sedangkan pencarian nilai entalpi outlet (h₂) pada bulan pertama dengan nilai rata-rata P2 = 0,089578 MPa (Vakum) dan dengan nilai rata-rata suhu yaitu T2 = 50,99 °C. nilai entalpi outlet dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 10. Nilai entalpi outlet (h₂) penelitian bulan pertama

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kinerja dari turbin generator secara keseluruhan selama 6 bulan penelitian :

Tabel 7. Kinerja Turbin Uap

Bulan ke -	Laju aliran massa m (kg/h)	Entalpi h_1 (kJ/kg)	Entalpi h_2 (kJ/kg)	h_1-h_2 (kJ/kg)	W_T (kJ/h)	W_T (kW)	$W_{Tactual}$ (kW)
1	28620,50	3299,32	2594,16	705,16	20182031	5606	5297,67
2	27473,44	3293,36	2592,05	701,31	19267398	5352	5057,64
3	28882,76	3320,66	2590,4	730,26	21091924	5858	5535,81
4	29915	3326,9	2592,88	734,02	19970557	5723	5416,16
5	27706	3307,2	2595,9	711,3	19707277	5474	5172,93
6	28275,57	3311,82	2596,28	715,54	20232301	5620	5310,90

Daya yang dihasilkan oleh turbin uap dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 atau 2.2. Berikut adalah contoh perhitungannya menggunakan sampel data beroperasi pada bulan Januari 2020 (penelitian bulan ke - 1) shift pagi :

$$W_t = m(h_1 - h_2)$$

$$W_t = 28620,5 \left[\frac{kg}{h} \right] (3299,32 - 2594,16) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$W_t = 28620,5 (705,16)$$

$$W_t = 20182031 \frac{kJ}{h}$$

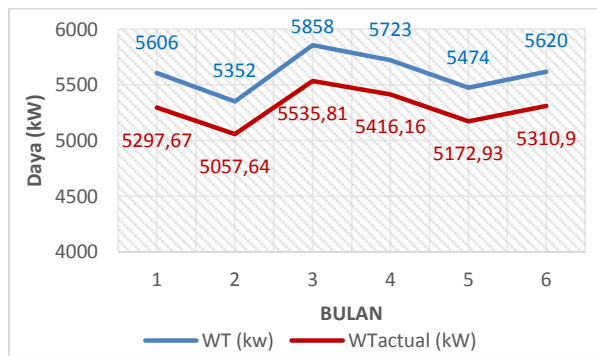
$$W_t = 5606 kW \text{ (daya input turbin)}$$

$$W_{Tactual} = W_T \times \eta_{turbin}$$

$$W_{Tactual} = 5606 kW \times 94,5 \%$$

$$W_{Tactual} = 5.297,67 kW \text{ (daya output turbin)}$$

Berikut ini merupakan grafik daya turbin selama beroperasi secara dari bulan pertama sampai penelitian bulan ke 6 penelitian;



Gambar 11. Grafik daya turbin uap

4.5.4. Efisiensi Generator

Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran atau daya yang dibangkitkan generator dengan daya masukan generator. Daya masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan oleh turbin karena turbin dengan generator dikopel dan bekerja bersama.

Data yang diambil berupa nilai rata-rata daya yang dibangkitkan generator PT. Harjohn Timber Kubu Raya dengan nilai masukan berupa data nilai daya aktual turbin uap ($W_{Tactual}$) dan nilai keluaran berupa daya nyata yang dihasilkan generator ($P_{Gactual}$).

Perhitungan nilai daya nyata generator ($P_{Gactual}$) dilakukan dengan cara mengalikan hasil pengukuran rata-rata beban generator yang tercatat di *control room* dengan nilai faktor daya (*power factor*) atau biasa disebut dengan $\cos \phi$. Nilai $\cos \phi$ PT. Harjohn Timber diasumsikan statis, sesuai dengan nilai spesifikasi generator adalah sebesar 0,8. Berikut adalah perhitungan daya nyata yang dibangkitkan generator di PLTU PT. Harjohn Timber Kubu Raya dengan sampel perhitungan pada bulan pertama penelitian :

$$P = S \times \cos \phi$$

$$P_{Gactual} = \text{Beban Generator} \times \cos \phi$$

$$P_{Gactual} = 5901 \times 0,8$$

$$P_{Gactual} = 4721 kW$$

Berikut adalah tabel yang menjelaskan nilai *input* dan *output* generator, serta hasil perhitungan dari nilai efisiensi generator, selama 6 bulan penelitian dengan waktu yang sama dengan perhitungan pada turbin uap, yaitu dimulai dari penelitian bulan ke 1.

Tabel 7. Data Perhitungan Efisiensi Generator

Bulan ke-	$W_{Tactual}$ (kW)	Beban generator (kVA)	$P_{Gactual}$ (kW)	Efisiensi generator (%)
1	5.297	5.901	4.721	89,13
2	5.057	5.903	4.762	94,17
3	5.535	6.433	4.579	82,73
4	5.416	5.961	4.554	84,08
5	5.172	5.722	4.558	88,13
6	5.310	5.735	4.836	91,07

Berikut contoh perhitungan efisiensi generator pada sampel data bulan pertama :

$$W_{Tactual} = 5297kW \text{ (nilai input)}$$

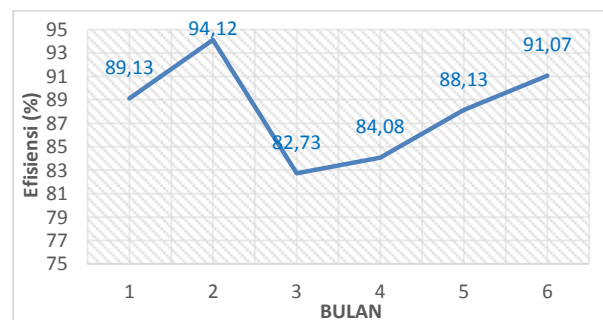
$$P_{Gactual} = 4721 kW \text{ (nilai output)}$$

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}}$$

$$\eta_{gen} = \frac{P_{Gactual}}{W_{Tactual}} \times 100 \%$$

$$\eta_{gen} = \frac{4721}{5297} \times 100 \%$$

$$\eta_{gen} = 89,13 \%$$



Gambar 12. Grafik Efisiensi Generator

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis perhitungan - perhitungan yang telah dilakukan pada komponen peralatan utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Harjohn Timber Kubu Raya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Analisa perhitungan yang melibatkan komponen bahan bakar adalah ketika pembangkit menggunakan bahan baku biomassa limbah kayu dengan tambahan batu bara sebagai penguat panas.
2. Nilai efisiensi nominal turbin uap berdasarkan *name plate* sebesar 94,5 %
3. Nilai spesifikasi kerja turbin (W_T) nominal berdasarkan perhitungan sebesar 7.088 kW. Sedangkan nilai rata – rata kerja turbin (W_T) berdasarkan operasi yang paling tinggi adalah dengan nilai kerja turbin sebesar 5.535,81kW.
4. Nilai operasi rata-rata efisiensi generator yang paling tinggi selama beroperasi enam bulan dengan nilai efisiensi mencapai 94,17 % pada bulan ke -2 penelitian (Bulan februari). Sedangkan nilai operasi rata-rata efisiensi generator yang paling rendah adalah pada bulan ke -3 penelitian (Bulan April 2021, shift sore) dengan nilai efisiensi sebesar 82,73 %.
5. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) batu bara dapat dianalisis ketika generator dibangkitkan menghasilkan nilai tertinggi pada bulan ke-5 menghasilkan nilai bruto 0,6798 kg/kWh dan nilai netto 0,8181 kg/kWh. Sedangkan nilai terendah pada bulan ke -6 yaitu dengan nilai bruto 0,4824 kg/kWh dan nilai netto 0,6041 kg/kWh.
6. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) kayu dapat dianalisis ketika generator dibangkitkan menghasilkan nilai tertinggi pada bulan ke-5 menghasilkan nilai bruto 0,4911 kg/kWh dan nilai netto 0,5910 kWh. Sedangkan nilai terendah pada bulan ke -6 yaitu dengan nilai bruto 0,3440 kg/kWh dan nilai netto 0,4308 kg/kWh.
7. Semakin tinggi total energi yang dihasilkan maka nilai *Specific Fuel Consumption* akan semakin rendah. Sebaliknya semakin rendah total energi yang dihasilkan maka nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) akan semakin tinggi.

5.2 Saran

Adapun masukan yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Langkah-langkah penghematan dapat ditekan dengan meningkatkan efisiensi peralatan. Untuk meningkatkan efisiensi dari boiler dapat dilakukan dengan cara mengurangi kehilangan panas (*heatloss*).
2. Melengkapi sensor debit kebutuhan bahan bakar, agar memudahkan perhitungan efisiensi bahan bakar pada boiler di PT. Harjohn Timber.

3. Untuk mencapai penelitian yang lebih baik disarankan pada penelitian yang akan datang untuk melakukan analisis lebih mendalam tentang kondisi pembangkit dan waktu pengamatan yang lebih lama sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat.
4. Penulis berharap karya ilmiah berupa skripsi yang berjudul “Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Studi Kasus PLTU Harjohn Timber Kubu Raya)” ini dapat dijadikan sebagai referensi awal bagi penelitian selanjutnya yang sejenis.

DAFTAR PUSTAKA :

- [1] Akhdiyatul, Radwitya, E., dan Chandra, Y. 2018 Analisis Teknis dan Ekonomis Dalam Penggunaan Bahan Bakar Biomassa Di Pusat Listrik Tenaga Uap Studi Kasus di PLTU PT. Suka Jaya Makmur.10 (2) : 1-8.
- [2] Anggito, A., & Setiawan, J. (2018). *Metode Penelitian Kualitatif*. Cv Jejak.
- [3] Basuki, A.C., Nugroho, A. And Winardi, B. 2010. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Menggunakan Metode Least Square. Diss. *Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip* 2011.
- [4] Cahyadi. 2011. Kajian Teknik Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Fosil. *Jite*.1(12) : 21-32.
- [5] Fitrah, M., & Luthfiah. (2017). *Metodelogi Penelitian*. Jejak.
- [6] Harris. 2013. Studi Pemanfaatan Limbah Padat dari Perkebunan Kelapa Sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung”, *Jurnal Teknik POMITS*. 2, (1) : 33-39.
- [7] Jamal, Bhuana, C. Dan Alihar, F. 2020. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Jeneponto. *Sinergi*.18 (1) : 20-28.
- [8] Nazaruddin, Alkindi dan Asmadi Surdia3. 2014. Analisa Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit (PLTBS) PT. Perkebunan Nusantara I Aceh. *Jurnal Ilmiah Jurutera*. 1 (2) :16-23.
- [9] Pane, N. E. Perkasa dan Kasim, S. Tarmizi. 2016. Studi Potensi Energi Baru Terbarukan Untuk Mengatasi Defisit Pasokan Tenaga Listrik di Daerah Sumatera Utara. *Jurnal Singuda Ensikom*. 14 (38) 1-6.
- [10] Prayudi. 2013. Kemungkinan Terjadinya Slagging Dan Kerugian Efisiensi Akibat Penggunaan Low Rank Coal Pada Boiler PLTU Suralaya Unit 8. *Jurnal Power Plant*. 1 (1) : 1-10.
- [11] Saryono, & Dwi Anggraeni, M. (2013). *Metodelogi Penelitian Kualitatif Dan Kuantitatif* (Cet-1). Nuha Medika.
- [12] Satori, D., & Komariah, A. (2011). *Metodelogi Penelitian Kualitatif* (Cetakan Ke-Iii). Alfabeta.

- [13] Sihombing, F., Karnoto, dan Winardi. B. 2016. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Studi Kasus Pt. Pln Pembangkit Tanjung Jati. *Transient*. 4 (4): 951-957.
- [14] Umar, H. (2014). *Metode Penelitian Untuk Skripsi Dan Tesis Bisnis* (Cet-13). Rajawali Pers.
- [15] Wardjito Dan Sugiyanto. 2013. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Unit 3 Dan 4 Grsik. *Jurnal Keilmuan Dan Terapan Teknik*. 2 (2) : 70-80.
- [16] Winardi, B. 2009. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Seminar Nasional Electrical, Informatic, And It's Education*. 1-4.

BIOGRAFI



A. Singko lahir di Nanga Kebebu, Kalimantan Barat pada tanggal 20 Oktober 1995. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 10 Nanga Kebebu, SMP Negeri 3 Nanga Kebebu, SMA Negeri 1 Nanga Pinoh dan menempuh pendidikan Strata I (S1) sejak tahun 2014 dan memperoleh gelar Sarjana dari Program Studi Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2021.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telp. (0561) 740186 Faximile (0561) 740186
Email: ft@untan.ac.id Website: http://teknik.untan.ac.id

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN JURNAL

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping pada Jurnal yang berjudul "*Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Studi Kasus PLTU Harjohn Timber Kubu Raya)*" yang ditulis oleh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura :

Nama : A. Singko
Nim : D1021141060
Jurusan : Teknik Elektro
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Tegangan Listrik

Demikian ini menerangkan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan skripsinya.

Pontianak, 20 Juli 2021

Pembimbing Utama,

Yandri, S.T., M.T.
NIP196903291999031001

Pembimbing Pendamping,

Ir. Kho Hie Khwee, M.T., IPM
NIP197002161995011001