

# ANALISIS PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI DI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBM) PT. HARJOHN TIMBER KUBU RAYA

Muhammad Syukrillah<sup>1)</sup>, Kho Hie Khwee<sup>2)</sup>, Ayong Hiendro<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

Email : [m.syukrillah45@gmail.com](mailto:m.syukrillah45@gmail.com)

## ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) 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. Kondisi saat ini PLTBM telah beroperasi selama 13 tahun dan telah mengalami banyak permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi boiler, turbin dan generator. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai spesifikasi efisiensi komponen peralatan utama PLTBM tersebut terhadap nilai rata-rata operasi efisiensi. Metode perhitungan yang dilakukan adalah menggunakan program aplikasi termodinamika ChemicaLogic SteamTab dalam mencari parameter nilai entalpi. Setelah dilakukan analisa didapat nilai efisiensi boiler sebesar 82 %, efisiensi turbin uap dan generator secara teknis sebesar 94,5 %. Nilai kerja turbin yang paling tinggi berdasarkan nilai rata-rata operasi, yaitu pada bulan penelitian ke-9, dengan nilai sebesar 5831 kW dari nilai spesifikasi 7088 kW. Sedangkan nilai operasi rata-rata efisiensi generator yang paling tinggi mencapai 93,78 %, terjadi pada bulan penelitian ke-2 dan efisiensi terendah saat penelitian pada bulan ke-8, dengan nilai 81,05 %. Apabila nilai operasi rata-rata efisiensi turbin dibandingkan dengan nilai spesifikasi, maka efisiensi turbin di Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) PT. Harjohn Timber turun sebesar  $\pm 12$  %. Sedangkan nilai rata-rata operasi generator mengalami penurunan tertinggi sebesar  $\pm 13,5$  % dan terendah  $\pm 1,5$  %.

**Kata kunci :** *PLTBM, Efisiensi Energi, Turbin Generator*

## 1. PENDAHULUAN

PT. Harjohn Timber Kubu Raya merupakan industri *plywood* di Kalimantan Barat yang berhasil mendapatkan Penghargaan Energi Pratama Tahun 2011 karena telah berjasa luar biasa memprakarsai untuk pertama kali mengembangkan limbah kayu olahan sebagai bahan bakar pembangkitan listrik [1].

PT. Harjohn Timber menggunakan 2 jenis pembangkit listrik yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Saat ini Harjohn Timber hanya menggunakan PLTBM sebagai sumber listrik utama produksi *plywood* dan sisa kelebihan dayanya dijual ke PLN. PLTD hanya dioperasikan pada kondisi tertentu, contohnya saat pemeliharaan boiler/turbin yang tidak memungkinkan PLTBM untuk beroperasi [2]. PLTBM PT. Harjohn Timber menggunakan generator turbin uap berkapasitas 7,5 Megawatt.

Secara aktual, daya yang dibangkitkan tidak statik pada nilai kapasitas generator turbin uap tersebut.. Kondisi saat ini PLTBM telah beroperasi selama 13 tahun dan telah mengalami banyak permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi boiler, turbin dan generator [3].

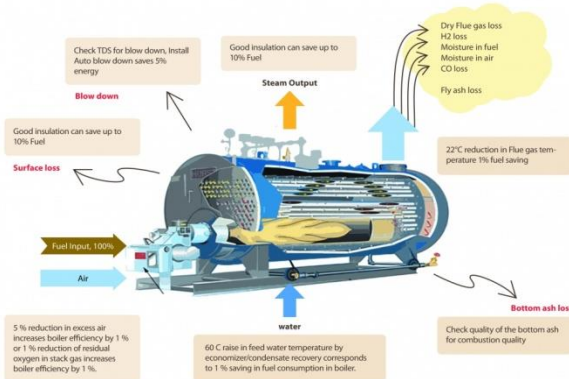
Oleh karena itu perlu dilakukan analisis efisiensi terhadap komponen peralatan utama ini, dimana perhitungan efisiensinya saling berkaitan. Dimulai dengan analisis pembakaran bahan baku biomassa di dalam boiler, dengan output berupa steam sebagai pemutar turbin. Karena turbin uap dikopel satu poros dengan generator sehingga perputaran rotor turbin menyebabkan berputarnya rotor generator. Dari listrik yang dihasilkan oleh perputaran rotor generator tadi, dapat diketahui seberapa besar output yang dihasilkan generator, sehingga dapat dihitung berapa besar nilai efisiensi generator [3].

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara *supply* energi masuk ke dalam boiler dengan energi keluaran yang dihasilkan oleh boiler. Namun demikian, efisiensi pada boiler dapat didefinisikan ke dalam tiga cara yaitu:

1. Efisiensi Pembakaran
2. Efisiensi Termal
3. Efisiensi Bahan Bakar Uap Air (*Fuel-to-Steam*) [4]



**Gambar 1.** Parameter efisiensi boiler [5]

Satu cara yang dianggap paling efektif untuk mengetahui performa boiler secara lebih presisi adalah dengan menghitung Efisiensi *Fuel-to-Steam*-nya (biasa pula disebut dengan efisiensi bahan bakar uap air). Selain memperhatikan efektifitas boiler sebagai *heat exchanger* (efisiensi termal), perhitungan efisiensi bahan bakar boiler juga memperhatikan adanya *losses* (kerugian) akibat adanya perpindahan panas radiasi dan konveksi. Efisiensi bahan bakar boiler memperhatikan dengan sangat teliti jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan, sehingga sangat tepat digunakan sebagai bahan analisa ekonomis boiler [5]. Dikenal ada dua metode untuk menghitung efisiensi bahan bakar pada boiler, yaitu metode langsung dan metode tak langsung.

#### a. Metode Langsung

Metode langsung, atau dikenal juga sebagai metode input-output, dilakukan dengan jalan membandingkan secara langsung energi panas yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap air (energi output), dengan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar boiler (energi input). Rumusan sederhana dari perhitungan metode langsung adalah sebagai berikut :

$$\eta_{fuel} = \frac{Q_{steam}}{Q_{fuel}} \times 100\%$$

$$\eta_{fuel} = \frac{Q \times (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana,

- $\eta_{fuel}$  : Efisiensi bahan bakar boiler (%)
- $Q_{steam}$  : Energi panas uap air (kalori; Joule)
- $Q$  : Debit uap air keluar boiler (kg/jam)
- $hg$  : Entalpi uap keluar boiler (kcal/kg)
- $hf$  : Entalpi air masuk boiler (kcal/kg)
- $Q_{fuel}$  : Energi panas hasil pembakaran bahan bakar (kalori; Joule)
- $q$  : Debit kebutuhan bahan bakar (kg/jam)
- $GCV$  : *Gross Calorific Value* atau nilai kalor spesifik bahan bakar (kcal/kg)

#### b. Metode Tak-Langsung

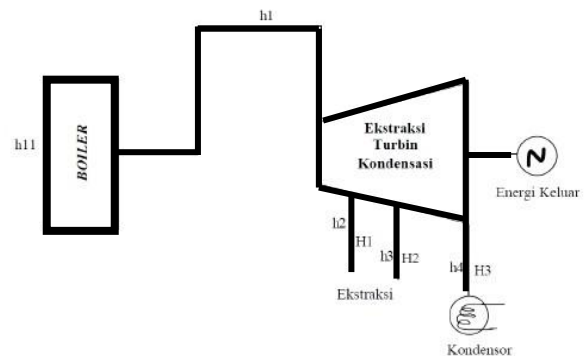
Yang dimaksud dengan perhitungan efisiensi boiler tak-langsung adalah perhitungan yang tidak langsung melibatkan komponen utama rumusan efisiensi boiler yakni energi output dan input, melainkan dengan jalan menghitung kerugian-kerugian (*losses*) yang ada. Mari kita perhatikan rumusan berikut :

$$\eta_{boiler} = 100 - (i+ii+iii+iv+v+vi+vii) (\%) \quad (2)$$

Dimana rugi-rugi yang terjadi di dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh :

- Gas cerobong yang kering
- Penguapan air yang terbentuk karena  $H_2$  dalam bahan bakar
- Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/*fly ash*
- Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/*bottom ash*
- Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung [6]

### 2.2 Efisiensi Turbin Uap



**Gambar 2.** Neraca entalpi turbin uap [3]

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 tertentu maka persamaan untuk menghitung kerja aktual turbin dalam kJ/hr adalah :

$$W_T = m(h_1 - h_2) \quad (3)$$

Sedangkan untuk mencari daya aktual yang dihasilkan oleh turbin ditunjukkan pada persamaan :

$$W_{Tactual} = W_T \times \eta_{turbin} \quad (4)$$

Dimana :

- $\eta_{gen}$  : Efisiensi generator (%)
- Beban : Daya generator (MW)
- $W_{Tactual}$  : Daya aktual turbin (MW) [3]

### 2.3 Efisiensi Generator

Bila kecepatan putaran rotor meningkat maka daya yang dihasilkan generator akan meningkat pula, oleh karena itu putaran generator harus disesuaikan dengan output daya yang dibutuhkan.

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 :

$$\eta_{gen} = \frac{Beban}{W_{Tactual}} \times 100 \% \quad (5)$$

Dimana :

- $\eta_{gen}$  : Efisiensi generator (%)
- Beban : Daya generator (MW) [3]

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) PT. Harjohn Timber Kubu Raya, yang berlokasi di unit industri Kumpai, Desa Kuala Dua, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data – data primer dan sekunder yang berhubungan dengan perhitungan teknis konsumsi bahan bakar, serta efisiensi energi komponen peralatan utama PLTBm, yaitu boiler, turbin, dan generator.

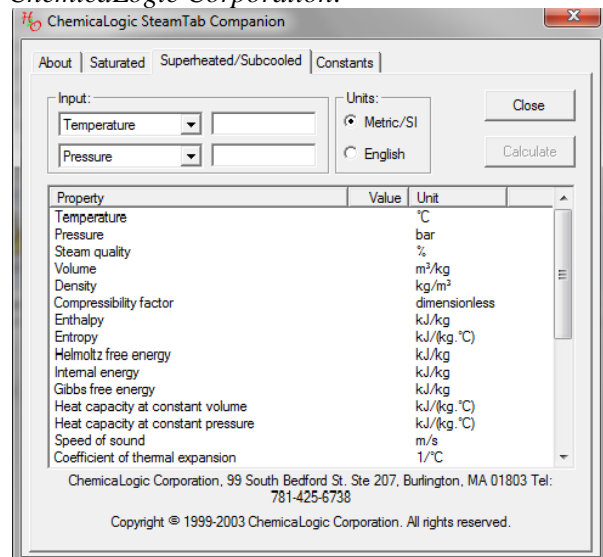
### 3.2 Alat Penelitian

Data – data primer yang diperlukan dalam melakukan analisa efisiensi boiler, diperoleh dengan menggunakan alat ukur sensor yang terpasang diruang pengendali (*control room*). Sedangkan data – data sekunder didapatkan dengan cara mengolah data yang sudah ada pada penelitian-penelitian terdahulu, atau dengan

meminta langsung ke bagian personalia PT. Harjohn Timber Kubu Raya.

Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran atau daya yang dibangkitkan generator dengan daya masukan generator. Daya masukan generator sama dengan gaya yang dihasilkan oleh turbin karena turbin dengan generator dikopel dan bekerja bersama. Untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dihitung dengan metode penurunan entalpi.

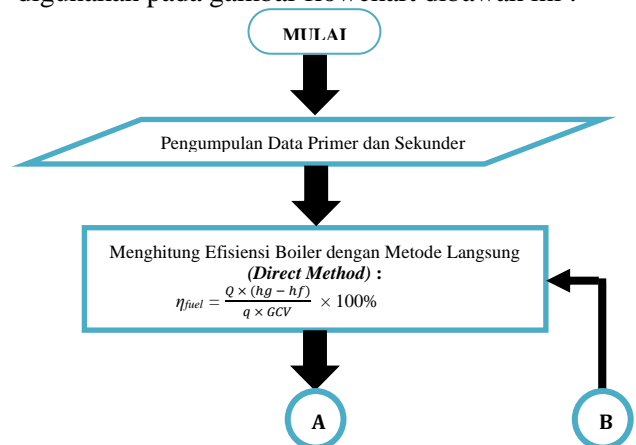
Data nilai entalpi bisa didapatkan dengan mengolah data menggunakan aplikasi *SteamTab* dan perhitungan interpolasi. *SteamTab* adalah perangkat lunak *spreadsheet* tambahan yang menyediakan data akurat daftar lengkap sifat termodinamika dan fisik untuk air dan uap. Gambar 3 menunjukkan tampilan program *SteamTab* yang merupakan produk dari *ChemicalLogic Corporation*.

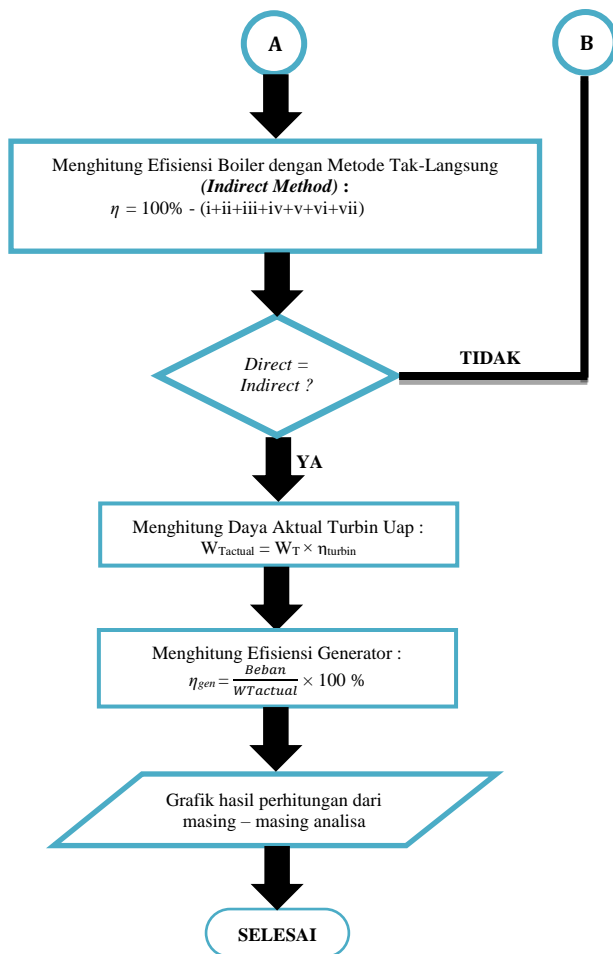


Gambar 3. Tampilan program *steamtab* [7]

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

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

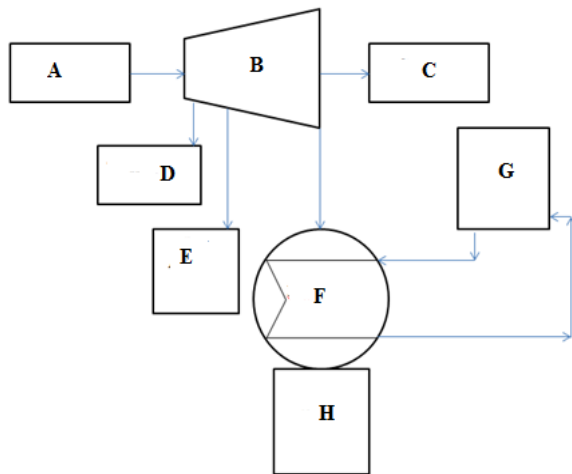




Gambar 4. Diagram alir penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 PLTBm PT. Harjohn Timber Kubu Raya



Gambar 5. Sistem PLTBm PT. Harjohn Timber [2] [8]

Keterangan Gambar 5 :

- A) **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.

- B) **Turbin** yang digunakan untuk mengubah energi potensial uap menjadi gerak putar. Energi potensial uap berasal dari boiler.
- C) **Generator** untuk menghasilkan listrik dari gaya putar turbin uap yang dikopel ke generator, putaran generator menghasilkan listrik.
- D) **Heat Pressure Heater** digunakan untuk memanaskan kembali air umpan sebelum masuk *economizer*. Penggunaan *Heat Pressure Heater* bertujuan untuk menghemat bahan bakar boiler.
- E) **Low Pressure Heater** digunakan untuk memanaskan air kondensat sebelum masuk ke *deaerator*.
- F) **Kondenser** digunakan untuk mengubah uap menjadi air dengan metode perpindahan panas antara uap dan air pendingin dari *cooling tower*.
- G) **Cooling Tower** atau menara pendingin merupakan tempat penghasil air pendingin yang akan disirkulasikan ke dalam kondenser.
- H) **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 [2]

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.

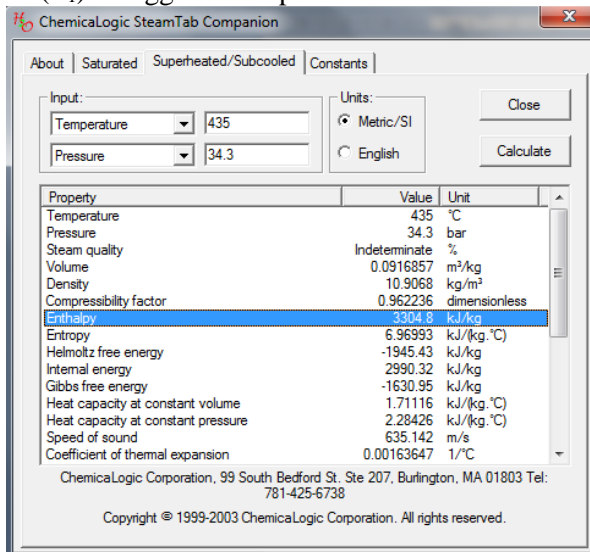


**Gambar 6.** Spesifikasi teknis turbin uap di PLTBm PT. Harjohn Timber [2][8]

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.

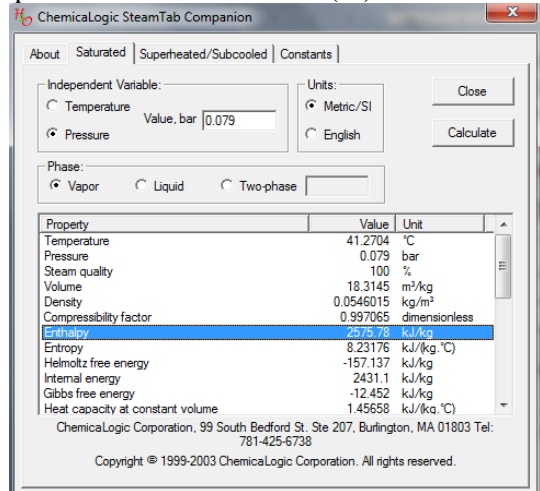
Berikut adalah perhitungan kerja aktual turbin uap secara spesifikasi :

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



**Gambar 7.** Nilai entalpi inlet ( $h_1$ ) kerja aktual turbin berdasarkan aplikasi *chemicallogic steamtab*

- b. Mencari nilai entalpi outlet ( $h_2$ ) dengan parameter Tekanan Outlet ( $P_2$ )



**Gambar 8.** Nilai entalpi outlet ( $h_2$ ) kerja aktual turbin

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

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

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

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

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

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

- 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.

PLTBm 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) [9].

Sedangkan nilai *GCV* dari batu bara yang digunakan sebagai penguat panas dalam proses pembakaran adalah sebesar 3411 kcal/kg [2].

### 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 4 dibawah ini [10].

**Tabel 4.** Analisis *Proximate* dan *Ultimate* [9][11]

	Serbuk Kayu	Batubara	Nilai Rata-Rata
<b>Analisis Proximate (%w dry basis)</b>			
Komponen volatile	78,33	29,79	54,06
Karbon tetap	15,41	46,79	31,1
Abu	2,39	13,99	8,19
<b>Analisis Ultimate (%w dry basis)</b>			
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

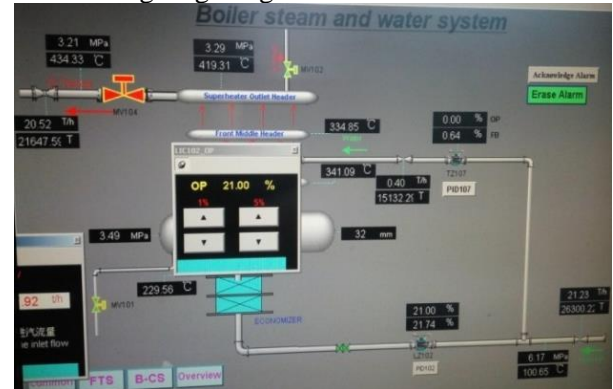
#### 4.5.1. Efisiensi Boiler

Kinerja pada boiler mempunyai parameter seperti rasio dan efisiensi yang berkurang terhadap waktu. Hal tersebut terjadi karena

buruknya pada proses pembakaran, dan buruknya kinerja boiler dipengaruhi oleh buruknya kualitas bahan bakar dan air [12]. Penelitian analisa efisiensi bisa dilakukan dengan menghitung Efisiensi *Fuel-to-Steam* (efisiensi bahan bakar). Ada dua metode dalam melakukan perhitungan efisiensi bahan bakar pada boiler, yaitu metode langsung dan metode tak langsung.

#### a. Metode Langsung (*Direct Method*)

Mencari efisiensi boiler menggunakan metode langsung dengan data di bawah ini :



**Gambar 9.** Nilai parameter pencarian efisiensi boiler

- Debit uap air keluar boiler :  
 $Q = 20,52 \text{ t/h}$
- Entalpi uap keluar boiler :  
 $hg = 3347 \text{ kcal/kg}$
- Entalpi air masuk boiler :  
 $hf = 422,2 \text{ kcal/kg}$
- Debit kebutuhan bahan bakar :  
 $q = 21,23 \text{ kg/jam}$
- *Gross Calorific Value* :  
 $GCV = 3411 \text{ kcal/kg}$

$$\eta_{\text{bahan bakar}} = \frac{\text{Energi Panas Total yang diserap uap air}}{\text{Energi Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{bahan bakar}} = \frac{Q \times (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{bahan bakar}} = \frac{20,52 \times (3347 - 422,2)}{21,23 \times 3411} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{bahan bakar}} = \frac{60014,98}{72415,53} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{bahan bakar}} = 82,87 \%$$

#### b. Metode Tak-Langsung (*Indirect Method*)

Perhitungan efisiensi boiler metode tak-langsung (*indirect method*) biasa juga disebut dengan metode kehilangan panas (*heat losses*) yang terjadi pada boiler atau metode neraca energi (*energy balance method*) berdasarkan buku pedoman standardisasi yang dikeluarkan oleh *The American Society Mechanical of Engineers (ASME)*.

- Tahap 1. Menghitung kebutuhan udara teoritis

$$= [(11,43 \times C) + \{ 34,5 \times (H_2 - O_2) / 8 \}] + (4,32 \times S) / 100 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

$$= [(11,43 \times 52,22) + \{ 34,5 \times (4,635 - 29,13) / 8 \}] + (4,32 \times 0,39) / 100$$

$$= [ (596) + \{ 34,5(0,99) \} + (1,68) ] / 100$$

$$= 6,33 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

- Tahap 2. Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$= \% O_2 \times 100 / (21 - \% O_2)$$

$$= 1 \times 100 / (21 - 1)$$

$$= 100 / 20$$

$$= 5 \%$$

- Tahap 3. Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok per kg bahan bakar (AAS)

$$= \{ 1 + EA/100 \} \times \text{udara teoritis}$$

$$= \{ 1 + 5/100 \} \times 6,33$$

$$= 6,64 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

- Tahap 4. Menghitung seluruh kehilangan panas

- Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering

$$= (m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100) / (\text{GCV bahan bakar})$$

Dimana :

m = massa gas buang kering dalam kg/kg bahan bakar

= massa CO<sub>2</sub> + massa SO<sub>2</sub>

+ massa N<sub>2</sub> + massa O<sub>2</sub>

$$= \frac{0,75 \times 44}{12} + \frac{0 \times 64}{32} + \frac{8,8 \times 77}{100}$$

+ (0,092 × 32) = 12,47 kg/kg bahan bakar

C<sub>p</sub> = Panas jenis gas buang (0,23 kkal/kg)

T<sub>f</sub> = 120 °C (nilai asumsi untuk bahan bakar padat)

T<sub>a</sub> = 27 °C (nilai asumsi untuk bahan bakar padat)

GCV = Gross Calorific Value (nilai kalor bahan bakar) (kkal/kg)

$$= 4675,72 \text{ kkal/kg}$$

$$= (m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100) / (\text{GCV bahan bakar})$$

$$= (12,47 \times 0,23 \times (120 - 27) \times 100) / 4675,72$$

$$= 5,7 \%$$

- Persen kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar

$$= [9 \times H_2 \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \} \times 100] / \text{GCV bahan bakar}$$

Dimana :

H<sub>2</sub> = persen H<sub>2</sub> dalam 1 kg bahan bakar

C<sub>p</sub> = panas jenis *superheated steam* (0,45 kkal/kg)

$$= [9 \times H_2 \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \} \times 100] / \text{GCV bahan bakar}$$

$$= [9 \times 4,635 \{ 584 + 0,45 (120 - 27) \} \times 100] / 4675,72$$

$$= [ 41,72 \times 625,85 \times 100 ] / 4675,72$$

$$= 5,58 \%$$

- Persen kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar

$$= [AAS \times 0,018 \times C_p (T_f - T_a) \times 100] / \text{GCV bahan bakar}$$

$$= [6,64 \times 0,018 \times 0,45 (120 - 27) \times 100] / 4675,72$$

$$= 500,56 / 4675,72$$

$$= 0,11 \%$$

- Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung ± 6,5 % (nilai asumsi)

- Tahap 5. Menghitung efisiensi boiler

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{100}{(i+ii+iii+iv+v+vi+vii)} \%$$

$$= 100 - (5,7 + 5,58 + 0,11 + 6,5)$$

$$= 100 - 17,90 \%$$

$$= 82,10 \%$$

#### 4.5.2. Efisiensi Turbin Uap

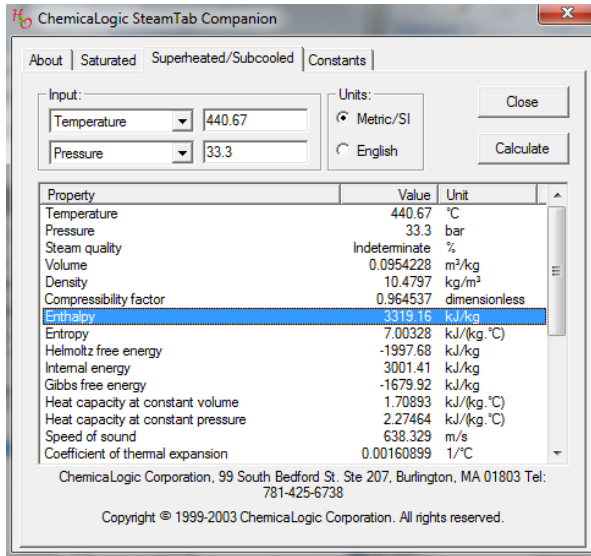
Pengumpulan data tekanan, laju aliran masa, dan temperatur pada turbin uap, diambil di CCR (*Central Control Room*) yang dijelaskan melalui tabel berikut :

**Tabel 5.** Data Tekanan, Laju Uap, dan Temperatur

Bulan ke -	Month (shift)	Laju Aliran Massa (m)	Tekanan Masuk (P <sub>i</sub> )	Suhu Masuk (T <sub>1</sub> )	Tekanan Keluar (P <sub>1</sub> )	Suhu Keluar (T <sub>2</sub> )
		ton/h	Mpa	°C	MPa	°C
1	8 (pagi)	27,74	3,33	440,67	0,089583	49,99
2	8 (sore)	28,48	3,42	427,08	0,08975	50,59
3	7 (pagi)	28,89	3,32	434,92	0,089250	50,45
4	7 (sore)	28,82	3,38	425,50	0,089417	49,67
5	6 (pagi)	26,60	3,32	439,17	0,089417	44,52
6	6 (sore)	28,13	3,39	425,83	0,089917	40,75
7	5 (pagi)	29,26	3,37	424,67	0,087833	49,00
8	5 (sore)	28,52	3,27	432,00	0,088250	50,30
9	4 (pagi)	30,30	3,29	427,83	0,08750	52,92
10	4 (sore)	29,10	3,16	431,50	0,088667	53,08

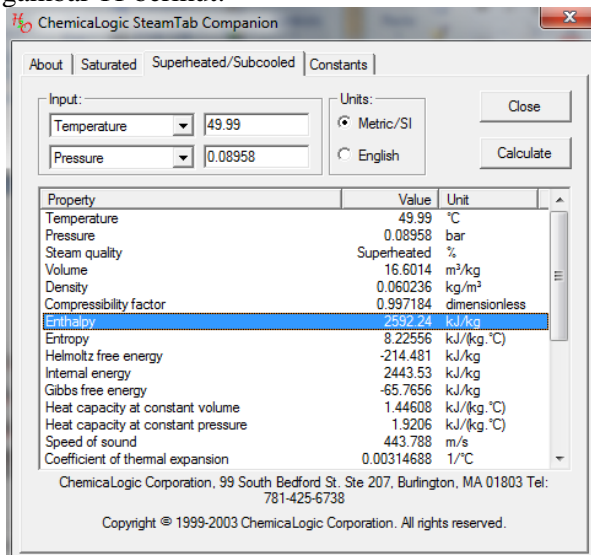
Langkah awal dalam melakukan perhitungan adalah dengan mencari nilai entalpi

dari parameter Tekanan (P) dan Suhu (T). Diambil contoh dalam mencari data nilai entalpi pada penelitian bulan pertama dengan nilai tekanan masuk rata-rata  $P_1 = 3,33$  MPa (33,3 bar) dan nilai suhu masuk turbin rata-rata  $T_1 = 440,67$  °C. Maka didapatkan nilai entalpi  $h_1$  dengan menggunakan aplikasi *ChemicalLogic SteamTab* berikut :



**Gambar 10.** Nilai entalpi  $h_1$  penelitian bulan pertama

Sedangkan pencarian nilai entalpi outlet ( $h_2$ ) pada penelitian bulan pertama dengan parameter nilai rata-rata  $P_2 = 0.08958$  MPa (vakum) dan parameter nilai rata-rata suhu  $T_2$  (*exhaust steam*) = 49,99 °C ditunjukkan oleh gambar 11 berikut:

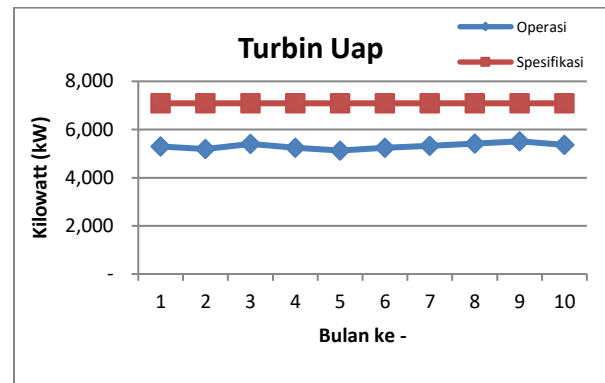


**Gambar 11.** Nilai entalpi outlet ( $h_2$ ) penelitian bulan pertama

Berikut adalah tabel dan grafik yang menunjukkan kinerja dari turbin generator secara keseluruhan selama 10 bulan penelitian :

**Tabel 6.** Kinerja Turbin Uap

Bulan ke -	Laju Aliran Massa $m$ (kg/h)	Entalpi $h_1$ (kJ/kg)	Entalpi $h_2$ (kJ/kg)	$h_1 - h_2$	$W_T$ (kJ/h)	$W_T$ (kW)	$W_{Taktual}$ (kW)
1	27741,67	3319,16	2592,24	726,92	20165972	5602	5293,57
2	28483,33	3286,8	2593,39	693,41	19750628	5486	5184,54
3	28891,67	3306,19	2593,13	713,06	20601492	5723	5407,89
4	28825	3283,76	2591,63	692,13	19950647	5542	5237,04
5	26605	3315,9	2581,72	734,18	19532859	5426	5127,38
6	28133,33	3284,39	2574,85	709,54	19961725	5545	5239,95
7	29266,67	3282,05	2589,52	692,53	20268045	5630	5320,36
8	28525	3300,31	2577,25	723,06	20625287	5729	5414,14
9	30308,3	3290,51	2597,93	692,58	20990946	5831	5510,12
10	29108,3	3300,76	2598,2	702,56	20450351	5681	5368,22



**Gambar 12.** Grafik kinerja turbin uap

### 4.5.3. Efisiensi Generator

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

Berikut adalah tabel yang menjelaskan nilai *input* dan *output* generator, serta hasil perhitungan dari nilai efisiensi generator, selama 10 bulan penelitian dengan waktu yang sama dengan perhitungan pada turbin uap, yaitu dimulai dari bulan Agustus 2019 (penelitian bulan ke 1 & 2) hingga mundur ke belakang pada bulan April 2019 (penelitian bulan ke 9 & 10).

**Tabel 7.** Data Perhitungan Efisiensi Generator

Bulan ke -	$W_{Taktual}$ (kW)	Beban Generator (kVA)	$P_{Gaktual}$ (kW)	Efisiensi Generator (%)
1	5.294	5.713	4.571	86,34
2	5.185	6.078	4.862	93,78
3	5.408	6.278	5.022	92,86
4	5.237	6.033	4.827	92,16
5	5.127	5.561	4.449	86,76
6	5.240	5.647	4.517	86,21
7	5.320	5.668	4.534	85,22
8	5.414	5.485	4.388	81,05
9	5.510	6.176	4.941	89,67
10	5.368	5.711	4.569	85,11

Berikut contoh perhitungan efisiensi generator pada sampel data bulan pertama :  
 $W_{Taktual} = 5293,67147$  kW (*nilai input*)



$$P_{\text{Gactual}} = 4570,66667 \text{ kW (nilai output)}$$

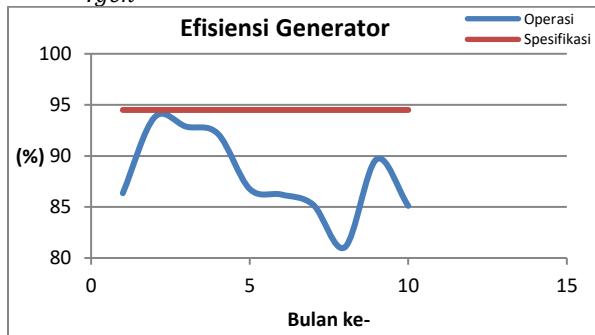
$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}}$$

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

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{4570,66667}{5293,67147} \times 100 \%$$

$$\eta_{\text{gen}} = 0,86344 \times 100 \%$$

$$\eta_{\text{gen}} = 86,34 \%$$



**Gambar 13.** Grafik Efisiensi Generator

## 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan pada komponen peralatan utama Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) 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. Analisa perhitungan efisiensi boiler melebihi nilai efisiensi boiler secara desain sebesar 81 %. Sedangkan nilai efisiensi boiler berdasarkan perhitungan adalah sebesar 82,87 % (metode langsung) dan 82,10 % (metode tak-langsung).
3. Analisa perhitungan efisiensi boiler dengan metode tak-langsung hanya dilakukan terhadap parameter yang diketahui, dengan nilai kehilangan panas lain yang tidak terhitung diasumsikan sebesar 6,5 %.
4. Metode tak-langsung bertujuan untuk mengetahui komponen pada boiler yang menghasilkan *losses*, sehingga saat melakukan perawatan dapat meningkatkan efisiensi boiler.
5. Nilai spesifikasi kerja turbin ( $W_T$ ) berdasarkan perhitungan adalah sebesar 7.088 kW. Sedangkan nilai rata-rata kerja turbin ( $W_T$ ) berdasarkan operasi yang paling tinggi adalah pada penelitian bulan ke – 9

(Bulan April 2019, shift pagi) dengan nilai kerja turbin sebesar 5.831 kW.

6. Nilai efisiensi generator secara spesifikasi diasumsikan sama dengan nilai spesifikasi turbin secara spesifikasi, yaitu sebesar 94,5 %.
7. Nilai operasi rata-rata efisiensi generator yang paling tinggi adalah penelitian pada bulan ke - 2 (Bulan Agustus 2019, shift sore) dengan nilai efisiensi mencapai 93,78 %. Sedangkan nilai operasi rata-rata efisiensi generator yang paling rendah adalah pada bulan penelitian ke – 8 (Bulan Mei 2019, shift sore) dengan nilai efisiensi sebesar 81,05 %.

### 5.2 Saran

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

1. Langkah-langkah penghematan energi dapat ditekan dengan meningkatkan efisiensi peralatan. Untuk meningkatkan efisiensi dari boiler dapat dilakukan dengan cara mengurangi faktor-faktor kehilangan panas (*heatloss*). Seperti penurunan 5 persen udara berlebih meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1 persen (atau 1 persen penurunan residu oksigen dalam gas cerobong meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1 persen).
2. Menurunkan suhu gas buang sebesar 22 °C meningkatkan efisiensi boiler 1 persen dan menaikkan 6 °C suhu air umpan karena penggunaan *economizer* pemanfaatan kembali kondensat, terdapat penghematan bahan bakar boiler 1 persen.
3. Melengkapi sensor debit kebutuhan bahan bakar, agar memudahkan perhitungan efisiensi bahan bakar pada boiler.

## DAFTAR PUSTAKA :

- [1] Zulkifliani. 2011. Pemanfaatan Limbah Kayu (Biomassa) Untuk Pembangkit Listrik, M&E, Vol. 9, No. 4 : Puslitbang Teknologi Minyak dan Gas Bumi, "LEMIGAS".
- [2] Personalia, PT. Harjohn Timber Kubu Raya. 1984. Profil Perusahaan Alas Kusuma Group.
- [3] Cahyadi, Dwi. 2015. Analisa Perhitungan Efisiensi *Turbine Generator QFSN-300-2-20B* Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang. Juni, 2015. Universitas Diponegoro, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro.
- [4] Engineering Toolbox. 2003. *Combustion Efficiency and Excess Air*. [https://www.engineeringtoolbox.com/boiler-combustion-efficiency-d\\_271.html](https://www.engineeringtoolbox.com/boiler-combustion-efficiency-d_271.html)
- [5] Artikel Teknologi. 2011. Cara Menghitung Efisiensi Boiler. <http://artikel-teknologi.com/cara-menghitung-efisiensi-boiler/>
- [6] The American Society of Mechanical Engineers. 2008. *Fired Steam Generators Performance Test Codes, ASME PTC 4-2008 (Revision of ASME PTC 4-1998)*.
- [7] ChemicalLogic Corporation. 1995. <http://www.chemicallogic.com/index.html>
- [8] Samosir, Rolando. 2019. Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). Universitas Tanjungpura, Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin.
- [9] Wahyudi. 2006. Penelitian Nilai Kalor Biomassa : Perbandingan Antara Hasil Pengujian Dengan Hasil Perhitungan. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol. 9, No.2, 2006: 208 – 220.
- [10] Zainuddin, Muammar., dkk. 2017. Analisis Efisiensi Gasifikasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) Tongkol Jagung Kapasitas 500 KW di Kabupaten Gorontalo. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, Vol. 14, No.2, Juni 2017, pp.192-198.
- [11] Energy Efficiency Asia. 2017. *Energy Efficiency Guide for Industry in Asia*. <https://www.energyefficiencyasia.org/index.html>
- [12] Nugroho, Aditio P., A. 2015. Analisa Kehilangan Energi Pada *Fire Tube Boiler* Kapasitas 10 Ton. Universitas Mercu Buana, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin.

## BIOGRAFI



**Muhammad Syukrillah** lahir di Ketapang, Kalimantan Barat pada tanggal 4 Mei 1995. Penulis menempuh pendidikannya di SD Negeri 16 Ketapang, SMP Negeri 3 Ketapang, SMA Negeri 3 Ketapang, dan menempuh pendidikan Strata I (S1) sejak tahun

2013 dan memperoleh gelar Sarjana dari Program Studi Teknik Elektro, konsentrasi Teknik Tenaga Listrik, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2019.

**HALAMAN PENGESAHAN JURNAL**

**ANALISIS PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI DI SISTEM  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBM)  
PT. HARJOHN TIMBER KUBU RAYA**

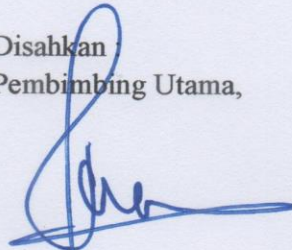
Program Studi Teknik Elektro  
Jurusan Teknik Elektro

Oleh :

**MUHAMMAD SYUKRILLAH  
NIM. D1021131013**

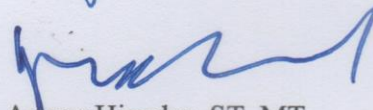
Pontianak, 29 Agustus 2019

Disahkan  
Pembimbing Utama,



Ir. Kho Hie Khwee, MT  
NIP. 196505261992021001

Pembimbing Pembantu,



Ayong Hiendro, ST, MT  
NIP. 196911011997021001