



ANALISIS EFISIENSI *BOILER* MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIOMASSA DI PLTU PT. GIP GROWTH ASIA

Rufinus Nainggolan^a, Fatima S. Ritonga^{b*}, Erna Juwita^c, Ari Johanda Bangun^a, Abri Andry Saresa Marbun^b

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^bProgram Studi Teknologi Rekayasa Pengelasan dan Fabrikasi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^cProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

* Corresponding authors at: fatimasari@polmed.ac.id (F.S.Ritonga) Tel.: +62812-6241-1727

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 20 Juni 2025

Direvisi pada 03 Agustus 2025

Disetujui pada 06 Agustus 2025

Tersedia daring pada 25 Agustus 2025

Kata kunci:

Ketel uap, biomassa, efisiensi.

Keywords:

Boiler, biomass, efficiency.

ABSTRAK

Boiler atau ketel uap yang dimiliki oleh PLTU PT. Global Inovasi Prima Growth Asia adalah jenis ketel pipa air Merek TAKUMA N2200 dengan spesifikasi tekanan kerja 46 Bar, temperatur 380°C, dan kapasitas 70 ton/jam. *Boiler* digunakan untuk pembangkitan listrik 15 MW dengan seluruhnya menggunakan bahan bakar biomassa. Penelitian ini mengkaji nilai efisiensi *boiler* yang menggunakan tiga jenis biomassa, yang terdiri dari *fiber* (40,395%), kayu giling (40,569%), dan sekam padi (19,036%), harga nilai kalor atas atau HHV 19.714 kJ/kg dan nilai kalor bawah atau LHV 17.122,776 kJ/kg. Data pengoperasian *boiler* yang diperoleh tanggal 21 Juni 2024, menunjukkan tekanan sebesar 34,62 Bar, temperatur 372,62°C, dan kapasitas uap 65,62 ton/jam sehingga diperoleh efisiensi *boiler* sebesar 58,25%. Efisiensi aktual *boiler* biomassa lebih rendah dari efisiensi teoritis yang diharapkan berdasarkan data operasional *boiler* (63,3%) mungkin disebabkan oleh variasi kelembaban bahan bakar yang digunakan.

ABSTRACT

The TAKUMA N2200 steam boiler owned by the coal-fired power plant (PLTU) PT. Global Inovasi Prima Growth Asia is a water-tube boiler with the following specifications: (1) working pressure: 46 bar, (2) temperature: 380 °C, and (3) capacity: 70 ton/h. The boiler is used to generate 15 MW of electricity, entirely fueled by biomass. In this study, the boiler efficiency based on three types of biomasses (*fiber* (40.395%), wooden chip (40.569%), and rice husk (19.036%)) was examined. The higher heating value (HHV) was 19,714 kJ/kg, and the lower heating value (LHV) was 17,122.776 kJ/kg. The boiler operation data obtained on June 21, 2024, showed a pressure of 34.62 bar, temperature of 372.62 °C, and steam capacity of 65.62 ton/h, resulting in a boiler efficiency of 58.25%. The actual biomass boiler efficiency was lower than the theoretical efficiency expected based on boiler operational data (63.3%), which may be due to variations in the moisture content of the fuel.

1. PENGANTAR

Steam Boiler atau ketel uap merupakan suatu wadah tertutup dan bertekanan yang digunakan memproduksi uap melalui perpindahan panas secara konduksi/rambatan, konveksi/aliran, dan radiasi/pancaran. *Boiler* merupakan komponen utama dalam sistem pembangkitan energi termal yang berfungsi sebagai media pertukaran energi antara panas hasil pembakaran bahan bakar dan fluida kerja berupa air atau uap (Cabeza dkk., 2021). *Boiler* merupakan komponen penting dalam sektor industri, termasuk pada pembangkit listrik tenaga termal. Pada pembangkit listrik, *boiler* digunakan untuk mengubah energi panas menjadi uap bertekanan tinggi yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik (Sudia dkk., 2022). Karena fungsinya ini, efisiensi *boiler* sangat mempengaruhi kinerja sistem pembangkit energi (Baringbing & Sinaga, 2023).

Boiler dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar, misalnya bahan bakar fosil seperti batu bara, produk turunan minyak bumi, dan gas alam merupakan bahan bakar yang paling banyak digunakan karena efisiensinya yang tinggi (Cabeza dkk., 2021). Terdapat pula *boiler* yang menggunakan bahan bakar alternatif seperti limbah industri atau biomassa. Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik sangat penting sebagai bentuk pengganti penggunaan bahan bakar fosil untuk menghasilkan panas. Beberapa studi saat ini telah berusaha untuk mengembangkan *boiler* dengan menggunakan biomassa sebagai bahan bakar karena dampaknya yang dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan batubara (Dwiaji, 2023; Sidiq, 2022; Tanbar dkk., 2025)). Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) milik PT. Growth Asia merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar utama boilernya adalah biomassa padat berupa *fiber*, sekam

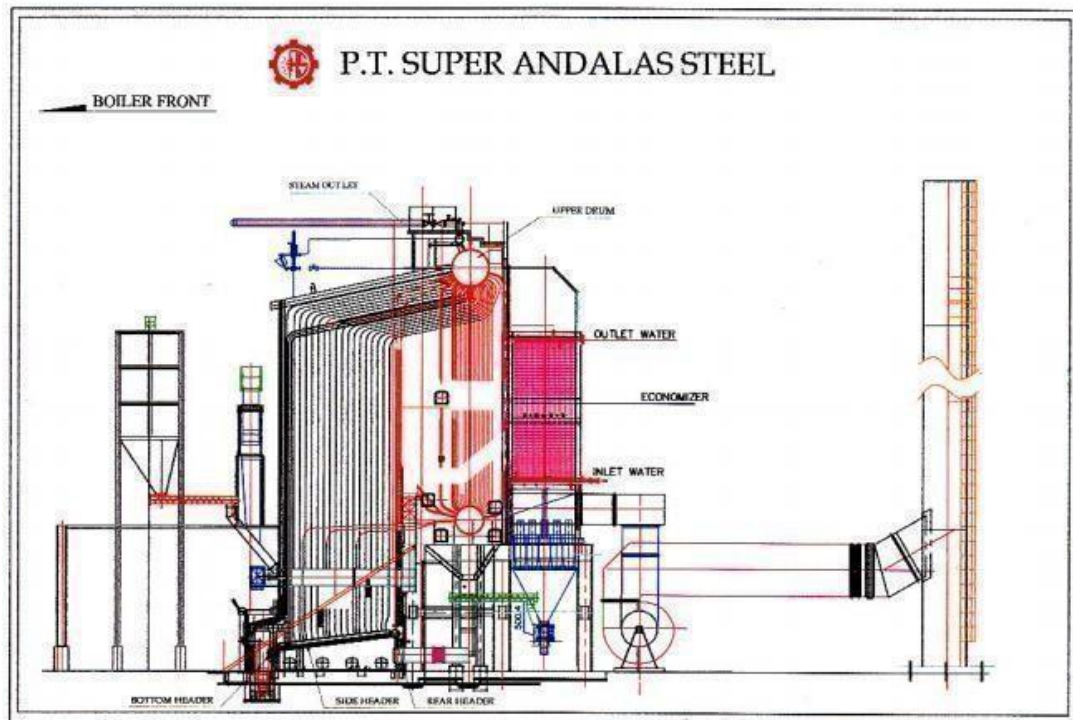
padi, dan kayu giling yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (*steam*) yang dihasilkan dari pembakaran biomassa tersebut di dalam *boiler*. *Boiler* PLTU PT. *Growth Asia* bertekanan kerja maksimum 46 kg/cm^2 dengan kapasitas 70 ton/jam.

Ada dua metode untuk menganalisis efisiensi *boiler*, yaitu metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*). Metode pendekatan untuk mengukur efisiensi *boiler* dengan menggunakan metode langsung atau disebut juga metode *input-output* (Prasojo dkk., 2020). Metode ini membandingkan energi yang dihasilkan dalam bentuk uap dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar yang digunakan. Pendekatan ini memberikan gambaran yang jelas tentang seberapa efektif bahan bakar digunakan untuk menghasilkan *output* yang diinginkan, dan memungkinkan evaluasi efisiensi sistem secara lebih tepat (Cabeza dkk., 2021). Metode analisis lainnya, yaitu metode tidak langsung disebut juga sebagai metode *heat lose/energy*, menghitung kehilangan panas yang terjadi selama proses pembakaran atau pemindahan panas (Sagaf dkk., 2020).

2. METODE

2.1. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di PLTU PT. GIP *Growth Asia* KIM 3 Medan. *Boiler* atau ketel uap yang digunakan pada PLTU tersebut adalah jenis ketel pipa air Merek TAKUMA N2200 dengan spesifikasi tekanan kerja 46 Bar, temperatur 380°C , dan kapasitas 70 ton/jam. *Boiler* digunakan untuk pembangkitan listrik 15 MW. Pengukuran yang diamati dalam penelitian ini berdasarkan pada alat ukur yang terpasang pada *boiler*, yaitu berupa *pressure gauge*, indikator suhu, dan *flow meter*. Spesifikasi *Boiler* pada sistem peralatan PLTU PT. GIP *Growth Asia* tersebut ditunjukkan pada gambar 1, sedangkan gambar 2 menunjukkan ketel pipa air yang digunakan oleh PLTU PT. GIP *Growth Asia*.



Gambar 1: Spesifikasi *Boiler* PLTU PT. GIP *Growth Asia*



Gambar 2: Ketel Pipa air oleh PLTU PT. GIP *Growth Asia*

Metode pengumpulan data-data operasional *boiler* atau ketel uap dan PLTU PT. GIP *Growth Asia* adalah sebagai berikut. **Observasi Lapangan;** Metode observasi yang dilakukan oleh peneliti dengan cara ikut terlibat langsung dalam mengamati dan mengumpulkan data terkait operasi *boiler* termotek di PT. GIP *Growth Asia*. Observasi dilaksanakan pada tanggal 17 Juni 2024 untuk mendapatkan data penggunaan bahan bakar pada *boiler* PLTU. **Wawancara;** Wawancara dilakukan bersama narasumber yaitu operator lapangan dan manajemen PT. GIP *Growth Asia* yang telah memiliki banyak pengalaman dalam pengoperasian *boiler* Termotek. **Studi Literatur;** Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi secara teoritis mengenai bidang *boiler* atau ketel uap. Sumber informasi yang diperoleh berasal dari buku dan artikel-artikel ilmiah.

2.2. Metode Pengolahan Data

Proses pengolahan data terkait pengoperasian *boiler* TAKUMA kapasitas 70 ton/jam dan tekanan 46 Bar dengan temperatur $^{\circ}380^{\circ}\text{C}$ yang diperoleh secara langsung dari PT. GIP *Growth Asia*, dilakukan dengan proses analisis dimana pada proses ini menggabungkan berbagai metode dalam merumuskan data berdasarkan studi literatur, baik melalui pendekatan kuantitatif maupun kualitatif sehingga diperoleh suatu kesimpulan. Analisis efisiensi *boiler* yang digunakan adalah metode langsung (*input-output method*) seperti persamaan 1 sebagai berikut:

$$\eta_B = \frac{m_u(h_u - h_a)}{m_{bb} \times LHV} \times 100\% \quad (1)$$

dimana:

- m_u = Kapasitas produksi laju uap (kg uap/Jam)
- m_{bb} = Laju konsumsi bahan bakar (kg bb/Jam)
- Q_{in} = Jumlah energi panas yang masuk (kJ/Jam)
- Q_{out} = Jumlah energi panas berguna (kJ/Jam)
- Q_{lost} = Jumlah kehilangan energi panas (kJ/Jam)
- h_a = Entalpi air umpan (kJ/kg)
- h_u = Entalpi uap (kJ/kg)
- LHV = *Low heating value* (Nilai kalor pembakaran rendah dalam kJ/kg bb) bahan bakar biomassa.

Nilai panas (kalor) merupakan kandungan energi panas yang dilepaskan pada waktu terjadi oksidasi unsur-unsur kimia yang terdapat dalam bahan bakar yang disebut proses pembakaran. Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan-bahan tersebut merupakan proses eksoterm. Dari berbagai unsur yang terdapat dalam bahan bakar, hanya ada 3 (tiga) unsur yang melakukan reaksi oksidasi dalam proses pembakaran, yaitu: Karbon (C), Hidrogen (H_2), dan Sulfur (S). Ketiganya bereaksi dengan unsur Oksigen (O_2) yang menghasilkan zat baru atau produk-produk pembakaran, yaitu Karbondioksida (CO_2), Air (H_2O) dan Sulfurdioksida (SO_2). Dalam proses pembakaran Oksigen (O_2) diperoleh dari udara yang ditemukan pada lingkungan sekitar, dimana unsur utama udara ini terdiri dari Nitrogen (N_2) dan Oksigen (O_2) serta sejumlah sangat kecil gas-gas lain seperti CO_2 .

Untuk menjamin berlangsungnya pembakaran sempurna, maka umumnya pada bagian udara suplai diberikan *excess air* atau udara berlebih untuk mencegah terjadinya produk karbon monoksida (CO) atau ada unsur karbon tidak terbakar yang menyebabkan tidak maksimalnya energi kalor yang dihasilkan. Namun, *excess air* yang sangat besar juga dapat menyebabkan pendinginan pada gas panas dan gangguan transformasi kalor terhadap fluida kerja air sehingga menurunkan efisiensi boiler. Udara tambahan sangat dibutuhkan terutama saat menggunakan bahan bakar biomassa yang banyak memiliki nilai air.

Nilai kalor pada bahan bakar dapat dibagi menjadi dua yaitu:

a. Nilai Kalor Atas (*High Heating Value*)

Besarnya nilai kalor atas (HHV) dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\text{HHV} = 33950.C + 144200 \left(\text{H}_2 - \frac{\text{O}_2}{8} \right) + 9400.S \quad (2)$$

b. Nilai Kalor Bawah (*Low Heating Value*)

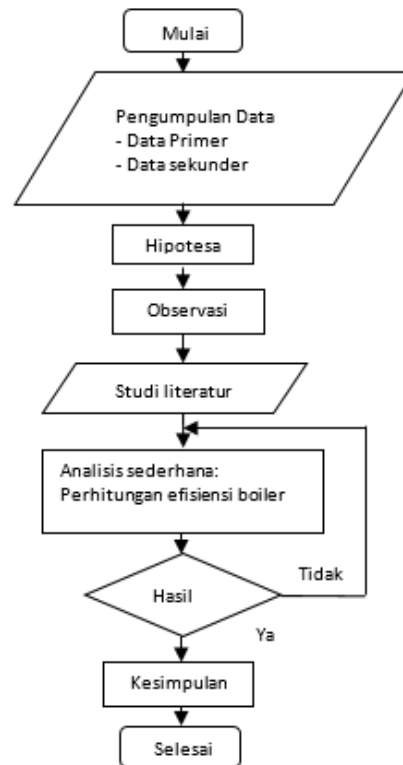
Besarnya nilai kalor bawah (LHV) dapat diketahui melalui persamaan 3.

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (\text{H}_2\text{O} + 9\text{H}_2) \quad (3)$$

Besar efisiensi dari pengoperasian sebuah *boiler* modern dengan minyak atau gas adalah secara teoritis mencapai 80%, tetapi prakteknya selalu lebih rendah. Dan harga ini agak lebih rendah pada sebuah ketel pembakaran berbahan bakar padat seperti biomassa karena tingginya kadar air pada bahan biomassa. Hal ini disebabkan karena perbedaan kondisi dan keadaan mesin saat pengoperasian dengan keadaan saat dilakukannya perhitungan secara teoritis.

2.3. Diagram Alir Penelitian.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir penelitian yang menjadi rancangan konsep penelitian. Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3: Diagram alir rancangan penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data operasi *boiler* atau ketel uap pipa air yang digunakan pada PLTU *Growth Asia* yang digunakan selama penelitian adalah sebagai berikut:

Merek	: TAKUMA, 2011
Model	: N2200
Maximum Working Pressure	: 46 kg/cm ²
Maximum Steam Evaporator	: 70.000 kg/h
Steam Temperature	: 380°C
Feed Water Temperature	: 90-95°C
Serial	: 1 3 5 7

3.1. Komposisi dan Jumlah Bahan Bakar

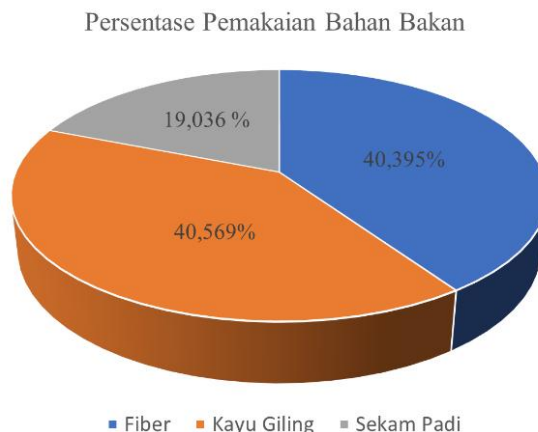
Bahan bakar yang digunakan oleh PLTU PT. *Growth Asia* dalam proses pembakaran merupakan bahan bakar padat biomassa seperti *fiber*, sekam padi, dan kayu giling. Berdasarkan hasil observasi di PLTU PT. *Growth Asia*, diketahui bahwa jumlah pemakaian bahan bakar *boiler* atau ketel pipa air yang digunakan sehari-hari sesuai dengan data pada tabel 1 dan komposisi rata-rata unsur dari campuran bahan bakar biomassa (*fiber*, sekam padi, dan kayu giling) kering yang digunakan oleh Ketel Pipa Air PLTU PT. *Growth Asia* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1: Jumlah Bahan Bakar yang Digunakan pada PLTU PT. *Growth Asia* dalam Satu Hari

No.	Jenis Bahan Bakar	Jumlah Kebutuhan (kg bb)	Persentase Pemakaian Bahan Bakar (%)
1	<i>Fiber</i> ($\rho = 1,2$)	208800 (174 Buckets)	40,395
2	Kayu giling ($\rho = 0,9$)	209700 (233 Buckets)	40,569
3	Sekam padi ($\rho = 0,85$)	98400 (120 Buckets)	19,036
Total		516.900	100

Sumber: PLTU *Growth Asia* KIM 3 Medan

Gambar 4 menunjukkan persentase pemakaian bahan bakar (*fiber*, kayu giling, dan sekam padi) yang digunakan oleh PLTU *Growth Asia*.



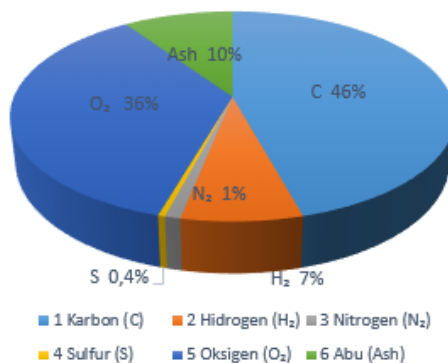
Gambar 4: Persentase pemakaian bahan bakar oleh PLTU *Growth Asia*

Tabel 2: Komposisi rata-rata dari bahan bakar yang digunakan pada PLTU PT. *Growth Asia* dalam satu hari

Nama Unsur	Fiber (%)	Sekam Padi (%)	Kayu Giling (%)
Karbon (C)	47,75	43,68	45,84
Hidrogen (H ₂)	9,54	6,57	4,56
Nitrogen (N ₂)	1,45	0,52	0,82
Sulfur (S)	0,68	0,31	0,19
Oksigen (O ₂)	33,94	39,78	32,11
Abu (Ash)	6,64	9,14	16,48

Sumber: PLTU *Growth Asia* Kim 3 Medan

Berdasarkan data komposisi rata-rata unsur dari campuran bahan bakar biomassa tersebut maka diperoleh rata-rata komposisi unsur per kg bahan bakar biomassa yang digunakan pada *boiler*, seperti ditunjukkan oleh gambar 5.



Gambar 5: Rata-rata komposisi unsur per kg bahan bakar biomassa

Dari ketiga jenis bahan bakar biomassa yang digunakan oleh PLTU PT. *Growth Asia* terlihat bahwa *fiber* mengandung komposisi karbon tertinggi dibandingkan dua jenis bahan bakar lainnya. Komposisi karbon yang tinggi akan menghasilkan suhu nyala api yang lebih tinggi, sehingga kalor yang dihasilkan juga semakin tinggi yang kemudian akan meningkatkan efisiensi pembakaran *boiler* (Suryadri dkk., 2021). Selain itu, nilai kadar air (*moisture*) dari masing-masing bahan bakar yang digunakan oleh PLTU PT. *Growth Asia* dapat dilihat pada tabel 3. Dari hasil perhitungan didapatkan persentase kandungan air rata-rata ketiga bahan bakar adalah sebesar 41,44867%.

Tabel 3: Estimasi Nilai *moisture* dalam bahan bakar

No.	Jenis Bahan bakar	Kandungan <i>Moisture</i> Bahan Bakar
1	<i>Fiber</i>	45%
2	Kayu Giling	40%
3	Sekam Padi	37%

Sumber: PLTU Biomassa PT. *Growth Asia*

Persentase rata-rata kadar air (*moisture*) dalam bahan bakar biomassa adalah sebagai berikut:

$$\text{Moisture} = \left[\frac{40,395}{100} \times 45\% \right] + \left[\frac{40,565}{100} \times 40\% \right] + \left[\frac{19,036}{100} \times 37\% \right]$$

$$= 18,17775\% + 16,2276\% + 7,04332\% = 41,44867\%$$

Berikut data nilai kalor bahan bakar fiber, kayu giling, sekam padi yang diperoleh dari PLTU GROWTH ASIA adalah sebagai berikut:

1. Nilai Kalor Pembakaran Tinggi (*High Heating Value*)

$$\begin{aligned} C &= 45,7352\% &= 0,457352 \text{ kg} \\ H_2 &= 7,391\% &= 0,07391 \text{ kg} \\ O_2 &= 35,9605\% &= 0,359605 \text{ kg} \\ S &= 0,4356\% &= 0,004356 \text{ kg} \end{aligned}$$

Nilai Kalor pembakaran tinggi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} HHV &= 33950 C + 144200 (H_2 - O_2/8) + 9400 S \text{ [kJ/kg]} \\ HHV &= 33950 (0,457352) + 144200 (0,07391 - 0,359605/8) + 9400 (0,004356) \\ HHV &= 15527,1004 + 4175,94187 + 40,9464 \\ HHV &= 19714 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

2. Nilai Kalor Pembakaran Bawah/Rendah (*Low Heating Value*)

Dari perhitungan diperoleh data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} HHV &= 19714 \text{ kJ/kg} \\ H_2 &= 7,391\% = 0,07391 \text{ kg} \\ Moisture &= 41,44867\% = 0,4144867 \text{ kg} \end{aligned}$$

Nilai kalor pembakaran rendah biomassa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} LHV &= HHV - 2400 (M + 9H_2) \\ LHV &= 19714 - 2400 (0,4144867 + 9 \times 0,07391) \\ LHV &= 19714 - 2591,224 \\ LHV &= 17122,776 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

3.2. Efisiensi Boiler

Hasil observasi parameter-parameter *boiler* PLTU PT. *Growth* Asia, kemudian dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif. Dengan menggunakan data maksimum pada spesifikasi mesin *boiler* diperoleh nilai efisiensi ideal atau maksimum yang diperoleh secara teoritis dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Hasil perhitungan nilai efisiensi ideal *boiler* yang diperoleh secara teoritis

Parameter	Nilai
Laju aliran uap ($\dot{m}_u$)	70.000 kg/jam
Temperatur uap (T_u)	380°C
Entalpi uap (h_u)	3237,1 kJ/kg
Entalpi air umpan (h_a)	398,09 kJ/kg
Laju aliran bahan bakar ($\dot{m}_{bb}$)	18330 kg/jam
Nilai kalor biomassa (LHV)	17.122,776 kJ/kg
Efisiensi Boiler (η_B)	63,30 %

Nilai efisiensi ideal *boiler* yang ditampilkan pada tabel 4 tersebut diperoleh dari persamaan 1, dengan perhitungan secara detail sebagai berikut:

$$\eta = \frac{70000 \text{ kg/jam} \times (3237,1 \text{ kJ/kg} - 398,09 \text{ kJ/kg})}{18330 \text{ kg/jam} \times 17.122,776 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\eta = 63,30\%$$

Sedangkan data yang diperoleh pada pengukuran langsung lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Table 5: Hasil pengamatan parameter dengan data *output* dan *input boiler*

Parameter	Nilai
Laju aliran uap ($\dot{m}_u$)	65,62 ton/jam = 18,228 kg/s
Tekanan boiler (P_u)	34,62 bar
Tekanan kondensor (P_{kod})	-0,889 barg = 0,111 bar abs
Temperatur uap (T_u)	372,62 °C
Entalpi uap (h_u)	3.154,789 kJ/kg
Entalpi air umpan (h_a)	368,632 kJ/kg
Temperatur air umpan (T_a)	88 °C
Laju aliran bahan bakar ($\dot{m}_{bb}$)	18,33 ton/jam = 5,0917 kg/s
Nilai kalor biomassa (LHV)	17.122,776 kJ/kg
Efisiensi Boiler (η_B)	58,25 %

Perhitungan efisiensi aktual menggunakan data yang diperoleh melalui observasi lapangan adalah:

$$\eta = \frac{65620 \text{ kg/jam} \times (3154,789 \text{ kJ/kg} - 368,63 \text{ kJ/kg})}{18330 \text{ kg/jam} \times 17.122,776 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\eta = 58,25 \%$$

Hasil perhitungan efisiensi *boiler* yang didapatkan berdasarkan hasil observasi lapangan tersebut menunjukkan bahwa pengoperasian *steam boiler* Takuma dengan spesifikasi tekanan 46 Bar, temperatur 380°C dan kapasitas 70 ton/jam di PLTU PT. GIP *Growth Asia* data yang diambil tanggal 21 Juni 2024 cukup baik untuk *boiler* yang menggunakan bakar biomassa dengan komposisi *fiber* 40,395%, kayu giling 40,569% dan sekam padi 15,036% yaitu untuk tekanan 34,62 Bar, temperatur 372,62°C dan kapasitas 65,62 ton/jam diperoleh efisiensinya sebesar 58,25%. Sedangkan perhitungan efisiensi *boiler* secara ideal berdasarkan spesifikasi *boiler* yang digunakan adalah sebesar 63,30%. Perbedaan tersebut terjadi karena adanya kerugian energi pada turbin saat praktik aktual. Pada perhitungan teoritis atau dalam kondisi ideal, proses ekspansi berlangsung secara sempurna menurut proses adiabatik, dimana tidak terjadi pertukaran kalor antara sistem dan lingkungan. Jadi perhitungan efisiensi aktual melalui observasi lapangan yang lebih kecil diakibatkan oleh kerugian energi karena adanya panas yang terbuang ke lingkungan, dimana kondisi operasi *boiler* tidak berada pada kondisi ideal. Sehingga energi kalor tidak semuanya dapat dikonversikan menjadi kerja mekanis pada turbin (Stephen dkk., 2023).

Besarnya efisiensi dari *boiler* dipengaruhi pada panas spesifik yang diberikan dan uap. Selain itu, karakteristik bahan bakar yang digunakan oleh *boiler* juga menjadi faktor penting yang mempengaruhi besarnya nilai efisiensi dari *boiler* tersebut (Manatura dkk., 2016). Faktor utama yang menyebabkan efisiensi dari boiler itu menurun diantaranya adalah kandungan *moisture* dalam bahan bakar, kehilangan gas buang kering, dan pembakaran yang tidak sempurna (Munir dkk., 2014). Terlihat bahwa dari data yang diperoleh dari PLTU PT. *Growth Asia*, bahan bakar yang digunakan adalah jenis biomassa yang terdiri dari *fiber*, kayu giling dan sekam padi memiliki kandungan *moisture* yang cukup tinggi. Pada tabel 3 menunjukkan ketiga bahan bakar tersebut memiliki persentase *moisture* sebesar 45% untuk *fiber*, 40% untuk kayu giling, dan 37% untuk sekam padi. Dari perhitungan didapatkan bahwa rata-rata persentase kandungan kadar air atau *moisture* pada bahan bakar biomassa adalah 41,44867%. Nilai tersebut cukup tinggi dan memungkinkan menjadi salah satu faktor yang dapat membuat nilai efisiensi dari *boiler* menjadi menurun.

Saat ini, *boiler* pada perusahaan pembangkit listrik maupun pengolahan banyak yang menggunakan bahan bakar yang bersumber dari batubara. Beberapa perusahaan mengimplementasikan metode yang dianggap ramah lingkungan dengan dengan metode *co-firing*. Istilah *co-firing* yang juga dikenal sebagai *co-combustion* adalah proses pembakaran dua jenis bahan bakar berbeda dalam suatu sistem pembakaran yang sama seperti campuran batubara dengan bahan biomassa. Pencampuran biomassa cangkang kelapa sawit dengan batubara seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Kawiarsa, dkk. menunjukkan perbandingan efisiensi boiler dengan bahan bakar *co-firing* cangkang kelapa sawit dan batu bara (89%) tidak jauh berbeda secara signifikan dibandingkan dengan efisiensi *boiler* yang sepenuhnya menggunakan batu bara (91%) (Kawiarsa, dkk. 2023).

Nilai efisiensi *boiler* yang sepenuhnya menggunakan bahan bakar biomassa dapat ditingkatkan dengan mengatur jumlah udara tambahan pada ketel uap *boiler*. Pada proses pembakaran biomassa, diperlukan suplai udara tambahan agar reaksi pembakaran dapat terjadi secara optimal. Namun, jika jumlah udara yang masuk terlalu berlebihan, panas yang dihasilkan dari pembakaran justru banyak terbuang melalui cerobong asap. Oleh sebab itu, pengaturan jumlah udara tambahan pada ketel uap harus dilakukan dengan cermat agar efisiensi pembakaran tetap terjaga (Suntoro dkk., 2022).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi lapangan pada *boiler* di PLTU PT. GIP *Growth Asia* yang beroperasi tanggal 21 Juni 2024, diketahui bahwa bahan bakar biomassa yang digunakan memiliki komposisi *fiber* atau serabut kelapa sawit sebesar 40,395%, sekam padi sebesar 40,569%, dan kayu giling sebesar 19,036%. Kandungan *moisture* dari ketiga bahan bakar tersebut adalah 45% pada *fiber*, 40% pada kayu giling, dan 37% pada sekam padi. Dengan rata-rata persentase kandungan *moisture* pada bahan bakar biomassa yang digunakan yaitu sebesar 41,44867%. Melalui analisis pada bahan bakar biomassa didapatkan nilai HHV= 20000 kJ/kg dan LHV = 17500 kJ/kg. Dari hasil analisis efisiensi *boiler* yang menggunakan metode langsung (*direct method*) di PLTU PT. GIP *Growth Asia* dengan kapasitas 70 ton/jam, tekanan 46 Bar, dan temperatur 380°C diperoleh nilai efisiensi sebesar 58,25% yang lebih rendah dari perhitungan teoritis berdasarkan data operasi *boiler* (63,3%). Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh kandungan kadar air yang tinggi dari bahan biomassa. Nilai efisiensi mungkin dapat ditingkatkan apabila pada proses pembakaran, diberikan suplai udara tambahan, sehingga reaksi pembakaran dapat terjadi secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada PLTU PT. GIP *Growth Asia* atas dukungan dan kerja samanya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwaji, Y. C. (2023). Analisis Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan Boiler PLTU Batubara Unit 1 PT . XYZ. *JOURNAL OF APPLIED MECHANICAL*, 3(1), 7–15.
- Hasudungan Baringbing, M., & Nazaruddin Sinaga, I. (2023). Analisis Efisiensi Water Tube Boiler Menggunakan Metode Langsung di Pt. Toba Pulp Lestari, Tbk Porsea-Sumatera Utara. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(2), 49–68.
- Kawiarsa; Nuryoto; Irwan, A. (2023). Pengaruh Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler Pada Pembangkit CFB Batubara Dalam Sistem Co-firing. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(3), 281–296.
- Manatura, K., Hung, C. H., Chen, C. M., Lu, J., & Wu, K. (2016). Energy Analysis for steam boiler burning with biomass. *October* 2015.
- Mojica-Cabeza, C. D., García-Sánchez, C. E., Silva-Rodríguez, R., & García-Sánchez, L. (2021). A review of the different boiler efficiency calculation and modeling methodologies. *Informador Técnico*, 86(1), 53–77.
- Munir, A., Alvi, J. Z., Ashfaq, S., & Ghafoor, A. (2014). *Performance evaluation of a biomass boiler on the basis of heat loss method and*

total heat values of steam. November.

- Prasojo, A. B., Hakim, L., & Rijanto, A. (2020). Analisis Efisiensi Boiler Hamada dengan Direct dan Indirect Method di PT Dayasa Aria Prima. *Majamecha*, 2(2), 103–112.
- Sagaf, M., Alim, S., Wibisono, C., & Muzakki, A. (2020). Predicting Boiler Efficiency Deterioration using Energy Balance Method: Case Study in 660 Mw Power Plant Jepara, Central Java, Indonesia. *Journal of Thermal Engineering*, 6(6), 247–256.
- Sidiq, A. N. (2022). Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara. *KILAT*. 11(1), 21–31.
- Manullang, J.S.E. & Lumbantobing, D. (2023). Unjuk Kerja Turbin Uap Jieneng dengan Daya 15 Mw di PLTU Growth Asia. *Sinerigi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 04(02), 45–58.
- Sudia, B., Rinova Sisworo, R., Aksar, P., Seru, J., Saputera, D., Teknik, D., Universitas, M., & Oleo, H. (2022). Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Heat Loss : Studi Kasus Pltu Moramo. *Dinamika : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 14(1), 1–8.
- Suntoro, D., Sinaga, P., Yudanto, R. C., & Faridha. (2022). Energy Efficiency and Energy Saving Potential Analysis of Biomass Boiler at the PT Greenfields Indonesia Milk Processing Plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1034(1).
- Suryadri, H., Sumantri, S. P., Nazarudin, D., Studi, P., Kimia, T., Sains, F., Teknologi, D., & Jambi, U. (2021). The Potency of Palm Empty Fruit Bunches as Raw Material for Producing Bioethanol and Dimethyl Ether Using Gasification Process. *Teknik Kimia*, 20(2), 106–120.
- Tanbar, F., Purba, S., Samsudin, A. S., Supriyanto, E., Aditya, I. A., & Pendahuluan, I. (2025). Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energi. *Jurnal OFFSHORE: Oil, Production Facilities and Energy* 5(2), 50–56.