

ANALISIS EFISIENSI BOILER BERBAHAN BAKAR AMPAS TEBU DENGAN METODE LANGSUNG

Krisna Putra Mahendra¹, Hendri Suryanto^{2*}, Mudjijanto³, Eva Hertnacahyani Herraprastanti⁴

^{1,2,3,4} Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, *Penulis Koresponden

e-mail: ¹krisnaputra984@gmail.com, ²hendrie.s72@gmail.com, ³mudjijantoswd@gmail.com,

⁴ev.hertna@gmail.com

ABSTRACT

In the White Crystal Sugar processing industry from sugar cane plants, the boiler is the main station in the steam production process. The steam produced by the boiler is used for the sugar making process and also as a turbine driver for power plants. In the steam production process, PT GMM-BULOG Blora utilizes dregs from the sugar cane milking process or called bagasse to be used as boiler fuel. So the boiler is called Bagasse Boiler. In this study, an analysis of the efficiency of the PT GMM-BULOG Blora bagasse boiler was carried out to determine the actual performance of the bagasse boiler during operation during the 2024 sugar cane grinding season. The method used for this analysis is Direct Method Efficiency. In this direct method, the analysis is carried out by directly comparing the energy produced by the boiler with the amount of energy required for the combustion process. With the direct method, this study collected data including: steam capacity, steam temperature, feed water pressure, feed water temperature, amount of fuel, and fuel calorific value. From this study, the results of the analysis of the efficiency of the PT GMM-BULOG Blora bagasse boiler using the direct method were 61.1%, with an average consumption of bagasse fuel of 15.02 tons/hour, and an average steam production of 45.9 tons/hour. These results indicate that the bagasse boiler is working inefficiently because the standard efficiency of the bagasse boiler based on the boiler specifications from the manufacturer is 84.6% with the amount of steam produced being 60 tons/hour.

Keywords: bagasse, boiler, efficiency, direct method

INTISARI

Pada industri pengolahan Gula Kristal Putih (GKP) dari tanaman tebu, boiler menjadi stasiun utama dalam proses produksi uap. Uap yang dihasilkan boiler digunakan untuk proses pembuatan gula dan juga sebagai penggerak turbin pembangkit listrik. Dalam proses produksi uap tersebut PT GMM-BULOG Blora memanfaatkan ampas dari proses pemerahan tebu atau disebut bagasse untuk dijadikan bahan bakar boiler. Sehingga boiler tersebut dinamakan Bagasse Boiler. Dalam penelitian ini dilakukan analisis efisiensi bagasse boiler PT GMM-BULOG Blora untuk mengetahui performa aktual bagasse boiler selama beroperasi pada saat musim giling tebu tahun 2024. Metode yang digunakan untuk analisis tersebut adalah Direct Method Efficiency atau Efisiensi Metode Langsung. Dalam metode langsung ini analisis dilakukan dengan cara membandingkan secara langsung energi yang dihasilkan boiler dengan jumlah energi yang diperlukan untuk proses pembakaran. Dengan metode langsung, maka dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data-data meliputi: kapasitas uap, temperatur uap, tekanan air umpan, temperatur air umpan, jumlah bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Dari penelitian ini, hasil analisis efisiensi bagasse boiler PT GMM-BULOG Blora dengan menggunakan metode langsung adalah 61,1%, dengan rata-rata pemakaian bahan bakar ampas tebu sebanyak 15,02 ton/jam, dan rata-rata uap yang dihasilkan adalah 45,9 ton/jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bagasse boiler bekerja dengan tidak efisien dikarenakan standar efisiensi bagasse boiler berdasarkan spesifikasi boiler dari pabrik pembuatnya adalah 84,6% dengan jumlah uap yang dihasilkan sebesar 60 ton/jam.

Kata kunci: ampas tebu, boiler, efisiensi, metode langsung

1. PENDAHULUAN

Salah satu produk yang dihasilkan dari proses pengolahan gula tebu adalah ampas tebu (bagasse). Ampas tebu merupakan sisa hasil dari proses pemerahan di Stasiun Gilingan yang berperan untuk dijadikan sebagai bahan bakar boiler. Di PT Gendhis Multi Manis (GMM)-BULOG Blora terdapat dua boiler yang mana salah satu dari boiler tersebut menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakar. Sehingga boiler tersebut dinamakan Bagasse

Boiler. Ampas tebu yang digunakan sebagai bahan bakar *boiler* tersebut diambil dari sisa hasil pemerahan pada gilingan akhir dengan karakteristik *moisture content* kurang dari 49% dan kadar gula (pol ampas) kurang dari 2% (Rein, 2007). Pada industri pengolahan Gula Kristal Putih (GKP) dari tanaman tebu, *boiler* menjadi stasiun utama dalam proses produksi uap. Uap yang dihasilkan *boiler* digunakan untuk proses pembuatan gula dan juga sebagai penggerak turbin pembangkit listrik.

Performa *boiler* dapat dinyatakan dalam bentuk efisiensi. Efisiensi *boiler* merupakan sebuah hubungan antara suplai energi yang masuk ke dalam *boiler* dengan energi yang dihasilkan dari proses pembakaran yang dihasilkan oleh *boiler* itu sendiri (Sugiharto, 2020). Jika membahas efisiensi *boiler*, pada dasarnya ada dua jenis efisiensi yaitu, *direct method efficiency* (metode langsung) dan *indirect method efficiency* (metode tidak langsung). Efisiensi dengan metode langsung merupakan metode yang didasarkan pada perhitungan jumlah uap berbanding dengan jumlah bahan bakar sedangkan untuk efisiensi dengan metode tidak langsung didasarkan pada efisiensi boiler berbasis data yang lebih kompleks seperti heat loss hingga ash content dalam bahan bakar. Selama digunakannya *bagasse boiler* di PT GMM-BULOG Blora, belum diketahui berapa nilai efisiensi *boiler* tersebut. Tetapi selama dioperasikan saat musim giling, data-data operasional harian *bagasse boiler* tersebut yaitu jumlah ampas tebu yang digunakan, jumlah uap, tekanan uap, temperatur uap yang dihasilkan dan temperatur air umpan dicatat dalam *log sheet*. Karena *boiler* menjadi peralatan utama dalam memproduksi gula, maka performa *boiler* yang digunakan perlu diketahui, salah satunya dengan menghitung efisiensinya. Dalam penelitian ini efisiensi *bagasse boiler* ditentukan dengan metode langsung berdasarkan data-data operasional harian yang dicatat dalam *log sheet*. Dengan mengetahui efisiensi tersebut nantinya bisa ditentukan tindakan apa yang diperlukan jika efisiensi *bagasse boiler* yang digunakan masih di bawah spesifikasi yang ditetapkan pabrik pembuatnya.

Analisis efisiensi boiler dengan metode langsung telah dilakukan dalam beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian efisiensi *boiler* dengan metode langsung tersebut seperti yang dilakukan Pravitasari et al (2017). Dalam penelitian tersebut dilakukan penelitian tentang analisis efisiensi *boiler* di PLTU dengan bahan bakar kayu dan batu bara, dari hasil pengujian menggunakan efisiensi dengan metode secara langsung diperoleh hasil 46%. Efisiensi yang rendah pada *boiler* tersebut dikarenakan kandungan *unburning material* yang tinggi sehingga nilai *Gross Calorific Value* (GCV) bahan bakar rendah.

Perhitungan efisiensi *boiler* dengan metode secara langsung juga dilakukan oleh Sugiharto (2020). Pembahasan dari penelitian tersebut adalah ditujukan untuk menganalisis efisiensi pada *boiler* pipa api nomor 2 PPSDM MIGAS dengan metode membandingkan secara langsung energi termal yang digunakan untuk mengubah air dari fase cair menjadi uap bertekanan. Dari hasil perhitungan efisiensi *boiler* PPSDM Migas dengan menggunakan metode secara langsung (*direct method*) sebesar 83,84 %, hal ini menunjukkan bahwa kinerjanya masih sangat baik.

Pada penelitian lain yang berjudul Penentuan Efisiensi Boiler dengan Menggunakan Metode Langsung di PT X Lumajang oleh Aprilia dan Hardjono (2021), membahas tentang analisis efisiensi *Boiler Fire Tube* dengan bahan bakar oli bekas yang mana uap panas yang dihasilkan dari boiler digunakan untuk membantu proses penyulingan untuk membuat *bioethanol*. Untuk mengetahui efisiensi pada *boiler* tersebut, peneliti menggunakan metode langsung dan didapat hasil efisiensi *Boiler Fire Tube* di PT X Lumajang mempunyai efisiensi 84,10%. Sedangkan analisis penggunaan ampas tebu sebagai bahan bakar boiler dilakukan oleh Nugroho et al (2021). Dalam penelitiannya dilakukan analisis kebutuhan ampas tebu (*bagasse*) pada proses produksi gula tahun 2018 dan pemecahan permasalahan kekurangan produksi ampas tebu untuk bahan bakar boiler di PG Krebet Baru II Malang. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai kalor ampas tebu, nilai heat loss dalam *boiler*, dan efisiensi *boiler* dengan metode langsung, serta perhitungan kebutuhan jumlah ampas tebu. Dari penelitian tersebut diperoleh kebutuhan ampas tebu yang ideal dengan kandungan air sebesar 45 % sehingga mampu meningkatkan efisiensi *boiler* dari 65 % menjadi 70 %, dan mengurangi konsumsi bahan bakar ampas tebu dari 56865 kg/jam menjadi 47838 kg/jam serta menghasilkan surplus ampas tebu sebesar 300 kg/jam. Sedangkan dengan analisis penentuan nilai persen ampas tebu sebesar 28,5 % menghasilkan surplus ampas tebu sebesar 297 kg/jam dari kekurangan sebanyak 8,7 Ton/jam pada produksi gula tahun 2018.

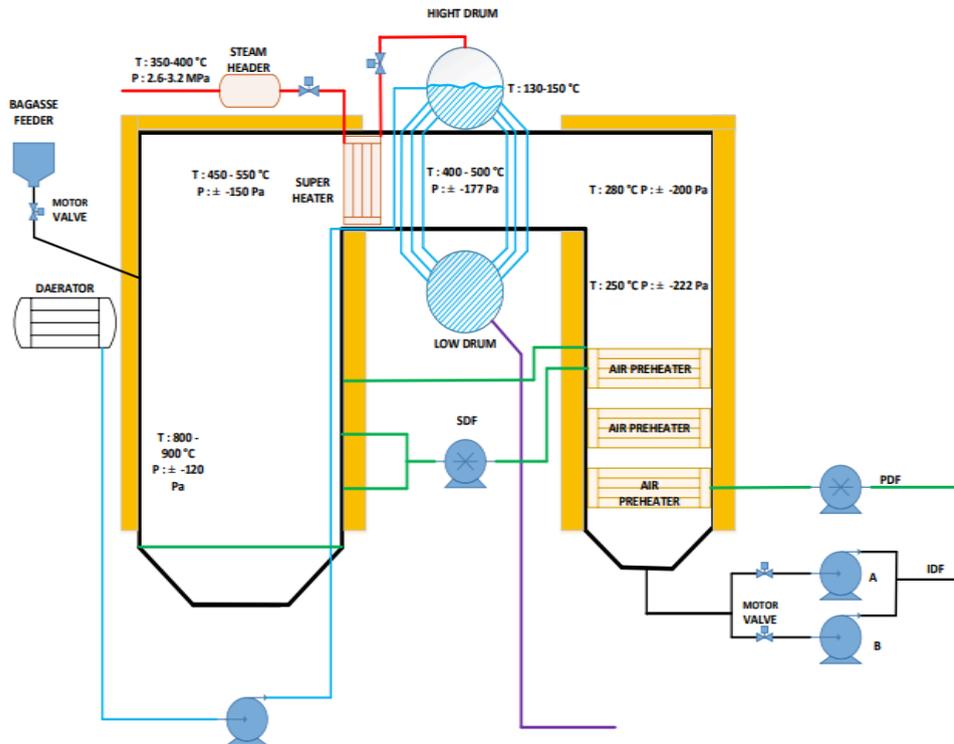
1.1 *Bagasse Boiler*

Di PT. GMM-BULOG Blora terdapat *boiler* dengan bahan bakar ampas tebu atau *bagasse*. *Boiler* tersebut bekerja ketika musim giling tebu yang mana sisa ampas tebu hasil pemerahan pada gilingan digunakan untuk bahan bakar utama pada *boiler*. *Bagasse boiler* menjadi alat yang vital saat giling tebu berjalan dikarenakan energi yang dihasilkan dari *boiler* digunakan sebagai penggerak Turbin Alternator dan digunakan sebagai pemanas pada proses pengolahan gula. Adapun secara skematik *bagasse boiler* di PT. GMM-BULOG Blora digambarkan seperti pada gambar 1.

Sedangkan spesifikasi *bagasse boiler* tersebut seperti disajikan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Spesifikasi Bagasse Boiler PT GMM-Bulog Blora (Pambudi, 2019)

Spesifikasi Boiler		
<i>Merk</i>	Jiangxi Jiang Liang	
<i>Building</i>	2013	
<i>Type</i>	Water Tube Boiler	
<i>Steam Flow</i>	60	T/hr
<i>Superheated Steam Pressure</i>	3,14	Mpa
<i>Superheated Steam Temperature</i>	400	°C
<i>Water Flow</i>	120	T/hr
<i>Boiler Feed Water Temperature</i>	105	°C



Gambar 1. Skema *Bagasse Boiler* di PT GMM- Bulog Blora (Pambudi, 2019)

Bagasse boiler PT GMM-Bulog Blora seperti ditampilkan pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. *Bagasse Boiler* di PT GMM-Bulog Blora

Alat utama pada *bagasse boiler* adalah peralatan yang mendukung *boiler* dapat bekerja sesuai dengan performa yang dimiliki dan menunjang kontinuitas *boiler* ketika sedang operasional. Alat utama pada *bagasse boiler* di PT. GMM-BULOG adalah sebagai berikut:

- a. Pengumpulan Bahan Bakar (*Bagasse Feeder*)
Saat giling tebu, ampas tebu yang dihasilkan dari sisa hasil pemerahan dapat mencapai 60 ton/jam dan *Bagasse Feeder* berfungsi untuk mengumpulkan bahan bakar ampas tebu sisa hasil pemerahan menuju ke ruang bakar, pemasukan bahan bakar diatur secara kontinyu menyesuaikan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan pada ruang bakar dan sisa ampas tebu yang tidak terpakai akan di transfer menuju *Bagasse House* (Pambudi, 2019).
- b. Ruang Bakar (*Furnace*)
Ruang bakar atau *furnace* adalah tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar, ketika sedang operasional suhu yang tercapai pada ruang bakar dapat mencapai paling rendah 600 °C sampai dengan 900 °C (maksimal), jika kondisi ampas ideal dengan *moisture content* kurang dari 49% (Pambudi, 2019).
- c. *Deaerator*
Alat *deaerator* ini terdiri dari dua *drum* dimana *drum* yang lebih kecil merupakan tempat pemanasan pendahuluan dan pembuangan gas-gas dari bahan air ketel, sedangkan *drum* yang lebih besar adalah merupakan tempat penampungan bahan air ketel yang jatuh dari *drum* yang lebih kecil di atasnya. *Deaerator* merupakan sebuah alat utama yang berfungsi untuk mengeliminasi oksigen atau gas-gas terlarut pada air yang akan dijadikan air umpan pada *boiler*, selain menjadi tempat penyimpanan air umpan, *Deaerator* juga berfungsi untuk menjaga suhu pada air umpan tetap terjaga 90 – 105°C (Pambudi, 2019).
- d. *Feed Water Pump*
Feed water pump adalah sebuah pompa dengan tekanan tinggi yang berfungsi untuk mensuplai air umpan dari *Deaerator* menuju *upper drum*, pada konsepnya *feed water pump* dirancang di bawah *deaerator* untuk menjaga performa pompa dari kavitasi yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan dari gaya hisap dari *impeller* (Pambudi, 2019).
- e. *Main Steam Drum*
Upper drum merupakan sebuah alat yang berfungsi sebagai tempat pertukaran panas antara fase fluida dengan fase gas atau steam, konsep dari *upper drum* sendiri mempunyai 2 fungsi yaitu sebagai tempat pertukaran fase air dan sebagai tempat penampungan fase gas pada fluida (Shen et al, 2018).
- f. *Lower Drum*
Lower drum atau *mud drum* adalah salah satu sambungan sistem dari *upper drum*, dimana *lower drum* berfungsi sebagai tempat sirkulasi pertukaran panas dari *upper drum* melalui pipa *downcomer*. Selain itu *lower drum* juga berfungsi untuk membuang kotoran yang mengendap pada dasar *drum* (Shen et al, 2018).
- g. *Super Heater*
Super heater merupakan alat pemanas lanjutan yang terdiri rangkaian pipa (*steam tube*) yang berfungsi untuk memanaskan uap jenuh (*saturated steam*) dari *upper drum* menjadi uap kering (*superheated steam*) yang kemudian akan didistribusikan menuju turbine alternator (Pambudi, 2019).
- h. *Air Heater*
Udara yang dihembuskan ke ruang bakar untuk mensuplai kebutuhan udara teoritis pembakaran bahan bakar harus dipanaskan agar udara tersebut tidak mempengaruhi proses pembakaran. *Air heater* sendiri berfungsi memanaskan udara luar yang dihisap oleh *Forced Draft Fan* (F.D.F) sehingga kadar air pada udara dapat diminimalisir. Setelah melalui *air heater* udara luar yang semula mempunyai suhu 38 °C dipanaskan menjadi sekitar 230 °C ketika udara tersebut dihembuskan kedalam ruang bakar.
- i. *Forced Draft Fan (FDF)*
Forced Draft Fan adalah alat utama yang berfungsi mensuplai kebutuhan udara teoritis menuju ruang bakar dan juga fungsi lainnya adalah menghembuskan udara pada ruang bakar sehingga bahan bakar ampas dapat terbakar secara melayang (*suspension firing*) (Pambudi, 2019).
- j. *Induced Draft Fan Bagasse Boiler*
Induced Draft Fan (IDF) berfungsi untuk menghisap gas pembakaran dari ruang bakar sehingga gas panas tersebut dapat digunakan untuk memanaskan instrumentasi di dalam *Boiler* seperti pipa air, *Superheater*, dan *Air Heater* lalu membuang gas panas tersebut melalui *Chimney* atau cerobong asap (Pambudi, 2019).
- k. *Wetscrubber Spray Tower*
Wetscrubber Spray Tower adalah alat penangkap debu (*fly ash*) sisa hasil pembakaran, sistem kerjanya adalah dengan cara menyemprotkan air bertekanan pada luasan area *tower* sehingga polutan dapat diserap oleh air sehingga udara yang keluar dari cerobong asap bersih dari *fly ash* (Bhargava, 2016).

1. *Cerobong Asap (Chimney)*

Cerobong asap adalah tempat berakhirnya gas panas sisa hasil pembakaran dari ruang bakar, meskipun terlihat tidak begitu berguna, cerobong asap berfungsi mengontrol *velocity* gas panas dan debu yang dikeluarkan oleh *Induced Draft Fan* (Shen et al, 2018).

1.2 **Ampas Tebu (*Bagasse*)**

Ampas tebu merupakan produk akhir dari proses pemerahan di stasiun gilingan setelah melalui empat tahap pemerahan. Ampas tebu dari hasil akhir pemerahan akan digunakan sebagai bahan bakar pada *bagasse boiler*, klasifikasi ampas tebu (*bagasse*) hasil dari proses pemerahan akhir di Stasiun Gilingan dinyatakan dalam tabel 2 berikut ini.



Gambar 3. Ampas Tebu (*Bagasse*)

Tabel 2. *Proximate Analysis of Bagasse After Milling*

<i>Proximate Analysis of Bagasse After Milling</i>		
<i>Bulk Density</i>	200 – 250	Kg/m ³
<i>Moisture Content</i>	< 49	%
<i>Pol</i>	1,5 – 2,0	%
<i>Gross Calorific Value</i>	1.800	kCal/kg
<i>Volatile Meter</i>	78,80	%
<i>Fixed Carbon</i>	19,54	%
<i>Ash Content</i>	1,66	%

Peranan ampas tebu di PT. GMM-BULOG Blora menjadi sangat sentral dikarenakan menjadi bahan bakar utama dalam pengoperasionalan *bagasse boiler* untuk menghasilkan uap yang mensuplai kebutuhan tenaga dalam pabrik.

a. Efisiensi Metode Langsung (*Direct Method Efficiency*)

Efisiensi Metode Langsung lebih dikenal secara luas sebagai metode *input-output*, metode ini menerapkan dengan pendekatan membandingkan secara langsung energi panas yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap (energi *Output*) dengan energi panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar *Boiler* (energi *Input*) (Sugiharto, 2020).

Rumus perhitungan Efisiensi Metode Langsung dinyatakan sebagai berikut:

$$\eta_{fuel} = \frac{Q_{steam}}{Q_{fuel}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta_{fuel} = \frac{Qx(h_g - h_f)}{qxGCV} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- η_{fuel} : Efisiensi pembakaran
- Q : Debit uap yang dihasilkan oleh *Boiler* (kg/jam)
- h_g : Entalpi uap keluar *Boiler* (kKal/kg)
- h_f : Entalpi air masuk ke *Boiler* (kKal/kg)
- q : Jumlah bahan bakar (kg/jam)

GCV : Gross Calorific Value(kKal/kg)

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan di PT. GMM-BULOG Blora. Pengambilan data didasarkan pada catatan operasional aktual selama musim giling 2024. Bahan dan alat penelitian yang digunakan selama penelitian ini adalah:

a. Catatan Operasional *Bagasse Boiler* Selama Operasional

Catatan operasional atau *log sheet* adalah sebuah buku yang dicatat secara aktual per jam oleh operator *bagasse boiler* untuk memantau performa *bagasse boiler*. *Log sheet* menjadi bahan penelitian yang penting dikarenakan semua data penelitian performa *bagasse boiler* didasarkan pada catatan yang terdapat pada *log sheet*.

b. *Proximate Analysis* Ampas Tebu

Proximate analysis ampas tebu adalah hasil pengujian sifat fisis dari ampas tebu untuk mengetahui nilai kalori yang terkandung didalam bahan bakar ampas tebu. Nilai kalori pada ampas ini nanti akan digunakan sebagai pembandingan dalam perhitungan efisiensi *bagasse boiler*.

Secara umum nilai kalor bahan bakar ampas dapat dianalisis menggunakan rumus empiris. Rumus ini digunakan untuk mengetahui nilai *Net Calorific Value* (NCV) pada ampas tebu. NCV adalah nilai kalor bersih yang terkandung dalam bahan bakar ampas tebu. Dalam *Handbook of Cane Sugar Engineering* (Hugot,1986), rumus nilai NCV pada ampas tebu dinyatakan dengan persamaan (3).

$$NCV = 4250 - 12s - 18,5 w \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

NCV : *Net Calorific Value* (kCal/kg)

s : kadar pol dalam ampas tebu (%)

w : kadar air dalam ampas tebu (%)

c. *Software Steam Table*

Software Steam Table nantinya digunakan untuk mengkalkulasi nilai *enthalpy* pada fluida sesuai dengan tekanan dan temperatur pada fluida. Mengetahui nilai *enthalpy* menjadi penting dikarenakan untuk mengetahui jumlah energi yang dibutuhkan *Bagasse Boiler* dalam membangkitkan uap.

Dalam penelitian ini, untuk melakukan perhitungan analisis efisiensi *bagasse boiler* di PT. GMM-BULOG Blora dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

a. Pengumpulan data operasional

Pengumpulan data operasional sendiri meliputi pengambilan data dari fungsi dan cara kerja dari *bagasse boiler*, kemudian data operasional dari *bagasse boiler*. Secara spesifik data operasional *bagasse boiler* di PT. GMM-BULOG Blora meliputi data yang tertuang dalam *log sheet* yaitu: 1. Tekanan *steam* yang dihasilkan, 2. Jumlah *steam* yang dihasilkan, 3. Temperatur *steam* yang dihasilkan, 4. Jumlah bahan bakar yang digunakan, 5. Jumlah air yang digunakan sebagai air umpan, dan 6. Data temperatur air umpan. Sebagian data tersebut nantinya akan digunakan sebagai bahan penelitian dalam menganalisis efisiensi pada *bagasse boiler* menggunakan perhitungan dengan metode secara langsung.

b. *Proximate analysis* pada ampas tebu (*bagasse*)

Proximate analysis ampas tebu (*bagasse*) adalah data yang dibutuhkan untuk mengetahui nilai kalor dari ampas tebu. Nilai kalor pada ampas tebu nantinya akan digunakan untuk mengetahui seberapa efisien *bagasse boiler* tersebut, semakin besar nilai kalornya maka jumlah bahan bakarnya akan semakin sedikit dan proses pembakarannya menjadi lebih baik.

c. Analisis efisiensi *bagasse boiler* dengan metode langsung

Setelah data yang dibutuhkan seperti: 1. Debit uap yang dihasilkan oleh *Boiler*; 2. *Enthalpy* uap yang dihasilkan oleh *Boiler*; 3. *Enthalpy* air umpan, 4. Jumlah bahan bakar ampas tebu, dan Nilai kalor pada bahan bakar ampas tebu, maka dapat dilakukan perhitungan efisiensi secara langsung. Efisiensi secara langsung dapat dikatakan sebagai nilai perbandingan antara energi yang diperlukan dalam mengubah air umpan menjadi sebuah uap berbanding dengan kebutuhan jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan energi panas dalam proses tersebut.

d. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah pengumpulan data operasional dan data kualitas bahan bakar. Data yang sudah dikumpulkan nantinya akan diolah dalam bentuk tabel maupun grafik untuk nantinya digunakan untuk perhitungan analisis *bagasse boiler* menggunakan metode secara langsung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Operasional *Bagasse Boiler* PT. GMM-BULOG-Blora

Setelah dilakukan penelitian selama satu minggu dari tanggal, 25 s/d 31 Mei 2024, diperoleh data-data yang dibutuhkan untuk analisis efisiensi *Bagasse Boiler* dengan metode langsung, meliputi: 1) Jumlah Uap (ton/jam); 2) Tekanan Uap (kg/cm²); 3) Temperatur Uap (°C); 4) Tekanan Air Umpan (kg/cm²) dan 5) Temperatur Air Umpan (°C). Data parameter-parameter tersebut disajikan dalam bentuk tabel untuk setiap harinya selama 24 jam.

3.2. Data Penggunaan Ampas Tebu *Bagasse Boiler* PT. GMM-BULOG Blora

Nilai kalor dalam bahan bakar dapat disebut dengan GCV (*Gross Calorific Value*) atau NCV (*Nett Calorific Value*), secara garis besar tidak ada perbedaan signifikan antara nilai GCV dan NCV. Pada saat pembakaran ampas tebu, kandungan air dalam ampas tebu dan air yang terbentuk dari persenyawaan hidrogen yang terkandung di dalam ampas tebu dan oksigen, akan berubah menjadi uap air setelah melalui proses pemanasan dan penguapan. Karena tidak memberi nilai tambah apa pun dalam konversi ke energi yang dapat dimanfaatkan selain untuk menguapkan air dalam ampas tebu saja maka kalor yang digunakan untuk proses tadi disebut kalor laten. Jika kalor laten ini diikutsertakan dalam analisis maka kalori dalam ampas tebu yang bersangkutan disebut dengan GCV dan HHV (*Higher Heating Value*). Dan jika faktor kalor laten ditiadakan maka, disebut dengan NCV atau LHV (*Lower Heating Value*).

Pada bahan bakar ampas tebu, peneliti tidak melaksanakan uji lab untuk nilai kalor pada ampas tebu tapi menggunakan perhitungan dalam buku *Handbook Of Cane Sugar Engineering* (Hugot,1986). Nilai kalor ampas tebu harus dihitung menggunakan NCV dikarenakan ampas tebu mempunyai kadar air dan pol (kadar gula) yang fluktuatif menyesuaikan efisiensi pemerahan pada stasiun gilingan. NCV secara garis besar adalah nilai kalor efektif yang digunakan dalam proses pembakaran ampas tebu, atau nilai kalor nyata yang terdapat dalam ampas tebu hasil pemerahan. Untuk mengetahui nilai kalor bahan bakar ampas tebu, dalam penelitian ini dihitung menggunakan persamaan (3). Data jumlah konsumsi bahan bakar ampas tebu dan nilai kalor bahan bakar disajikan dalam bentuk tabel untuk setiap harinya selama 24 jam.

3.3. Hasil Perhitungan Efisiensi *Bagasse Boiler* PT. GMM-BULOG Blora Menggunakan Metode Langsung

Sebelum melakukan analisis, data yang sudah disusun akan dipilih untuk dapat dilaksanakan perhitungan. Data nilai kalor bahan bakar tidak dianalisis setiap jam dikarenakan untuk melakukan uji sampel % pol (kadar gula) dalam ampas tebu membutuhkan bahan kimia yang cukup mahal. Jadi dalam penelitian ini digunakan perhitungan berbasis data yang memenuhi syarat, yang salah satunya adalah nilai kalor bahan bakar.

Hasil analisis perhitungan efisiensi menggunakan metode langsung pada *bagasse boiler* di PT. GMM-BULOG Blora dengan menggunakan persamaan (2).

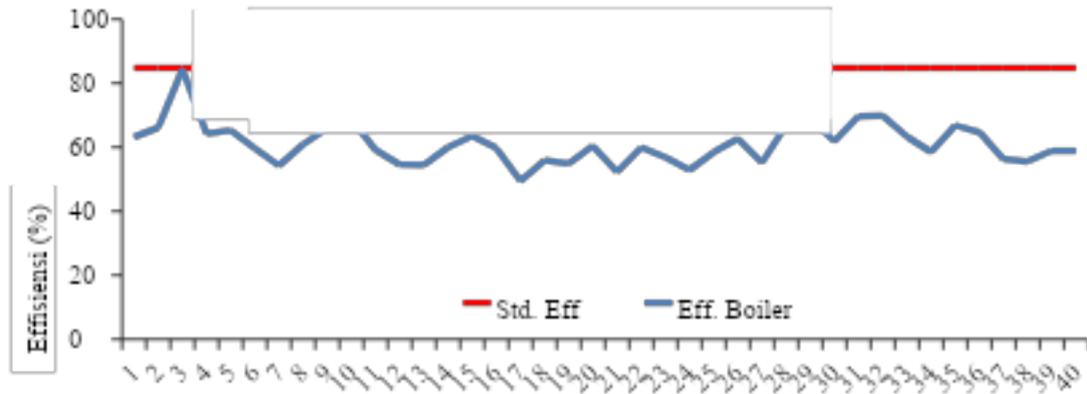
Tabel 3. Hasil Perhitungan Efisiensi *Bagasse Boiler* PT. GMM-BULOG Blora

No.	Ampas Tebu (<i>Bagasse</i>)		Jumlah Uap (kg/jam)	Tekanan Uap (kg/cm ² abs)	Temp. Uap (°C)	Enthalpi Uap (kJ/kg)	Tekanan Air (kg/cm ² abs)	Temp Air (°C)	Enthalpi Air Umpan (kJ/kg)	Eff. <i>Bagasse Boiler</i> (%)	Std. Eff. (%)	Pengambilan Data <i>Log Sheet</i>	
	Total (kg)	NCV (kJ/kg)										Tanggal	Jam
1	12375	13513,9	40000	31	329	3063,5	46	100	422,5	63,2	84,8	25-Mei-24	09.00
2	13500	13680,7	46000	31	334	3075,6	46	100	422,5	66,1	84,8	25-Mei-24	11.00
3	10125	13951,3	45000	31	333	3073,2	46	100	422,5	84,4	84,8	25-Mei-24	15.00
4	13950	13710,8	45000	33	369	3154,4	46	100	422,5	64,3	84,8	25-Mei-24	21.00
5	13050	13796,7	43000	31	369	3158,4	46	100	422,5	65,3	84,8	25-Mei-24	23.00
6	13275	13809,2	40000	30	368	3158,1	46	100	422,5	59,7	84,8	25-Mei-24	01.00
7	16200	13951,3	45000	30	365	3151,1	46	100	422,5	54,3	84,8	25-Mei-24	07.00
8	13275	13563,2	40000	29	369	3162,4	46	100	422,5	60,9	84,8	26-Mei-24	15.00
9	11250	13619,9	37000	30	366	3153,5	46	100	422,5	65,9	84,8	26-Mei-24	23.00
10	14175	13859,0	49000	31	375	3172,4	46	100	422,5	68,6	84,8	26-Mei-24	07.00
11	14175	13085,7	40000	29	369	3162,4	46	100	422,5	59,1	84,8	27-Mei-24	15.00
12	13275	13929,3	37000	30	366	3153,5	46	100	422,5	54,6	84,8	27-Mei-24	23.00
13	18000	13731,9	49000	31	375	3172,4	46	100	422,5	54,5	84,8	27-Mei-24	07.00
14	15750	13697,3	47000	28	372	3171,2	46	99	418,3	60,0	84,8	28-Mei-24	10.00

15	13950	13590,8	44000	31	367	3153,8	46	99	418,3	63,5	84,8	28-Mei-24	11.00
16	16650	13754,0	50000	31	366	3151,4	46	99	418,3	59,7	84,8	28-Mei-24	13.00
17	17550	13619,9	43000	31	375	3172,4	46	99	418,3	49,5	84,8	28-Mei-24	15.00
18	15975	13922,7	45000	27	376	3182,3	46	99	418,3	55,9	84,8	28-Mei-24	17.00
19	14850	13817,8	41000	29	371	3167,0	46	100	422,5	54,8	84,8	28-Mei-24	19.00
20	13275	13774,6	40000	30	379	3183,5	46	99	418,3	60,5	84,8	28-Mei-24	23.00
21	16875	13400,5	43000	27	365	3166,3	46	99	418,3	52,3	84,8	28-Mei-24	07.00
22	16425	13943,3	50000	29	370	3164,7	46	99	418,3	60,0	84,8	29-Mei-24	11.00
23	16425	13240,9	45000	27	368	3164,0	46	99	418,3	56,8	84,8	29-Mei-24	13.00
24	15975	13973,0	43000	28	368	3162,1	46	99	418,3	52,9	84,8	29-Mei-24	15.00
25	14400	13684,8	43000	28	340	3097,1	46	99	418,3	58,5	84,8	29-Mei-24	17.00
26	17325	13605,9	55000	26	341	3104,0	46	99	418,3	62,7	84,8	29-Mei-24	19.00
27	16875	14028,2	50000	25	310	3033,7	46	99	418,3	55,2	84,8	29-Mei-24	03.00
28	11475	13612,9	40000	25	310	3033,7	46	99	418,3	67,0	84,8	29-Mei-24	07.00
29	14400	13797,3	50000	31	372	3165,4	46	99	418,3	69,1	84,8	30-Mei-24	09.00
30	16200	14222,5	52000	31	370	3160,7	46	99	418,3	61,9	84,8	30-Mei-24	11.00
31	15075	13253,4	50000	30	388	3204,2	46	99	418,3	69,7	84,8	30-Mei-24	15.00
32	13500	14014,1	50000	29	326	3061,4	46	99	418,3	69,9	84,8	30-Mei-24	17.00
33	15750	13471,3	51000	31	326	3056,2	46	100	422,5	63,3	84,8	30-Mei-24	19.00
34	15750	13613,4	47000	31	339	3087,6	46	99	418,3	58,5	84,8	30-Mei-24	22.00
35	16200	13683,7	54000	29	370	3164,7	46	99	418,3	66,9	84,8	30-Mei-24	07.00
36	15075	13471,8	48000	31	367	3153,8	46	99	418,3	64,7	84,8	31-Mei-24	09.00
37	16425	13774,6	45000	31	394	3216,1	46	91	384,7	56,3	84,8	31-Mei-24	15.00
38	17550	13795,7	50000	28	339	3094,7	46	95	401,5	55,6	84,8	31-Mei-24	17.00
39	17550	14055,3	54000	28	345	3108,8	46	99	418,3	58,9	84,8	31-Mei-24	19.00
40	17100	13809,2	50000	26	376	3184,2	46	95	401,5	58,9	84,8	31-Mei-24	01.00
Avg	15024,4	13720,8	45900	29,4	359,4	3139,4	46,0	99	418,2	61,1	84,8		

3.4 Perbandingan Efisiensi Standar Bagasse Boiler dengan Aktual

Pada spesifikasi *bagasse boiler* sudah jelas bahwa, efisiensi idealnya adalah 84,8 %, namun rata-rata efisiensi aktual yang dapat tercapai hanya sebesar 61,1%. Dari 40 data sampel yang didapat, tercatat hanya 1 kali *bagasse boiler* mempunyai efisiensi mendekati 84,8% yaitu pada sampel no.3 dimana efisiensi tercatat mencapai 84,4%. Sedangkan efisiensi terendah didapat pada sampel 21 dimana efisiensi tercatat adalah 52,3%.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Standar Efisiensi *Bagasse Boiler* dengan Aktual

Pada grafik dari gambar 4 di atas dapat dilihat bahwa efisiensi aktual *boiler* hampir tidak pernah mencapai standar. Efisiensi *Bagasse Boiler* sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah kualitas bahan bakar hingga jumlah uap yang dihasilkan. Kualitas bahan bakar akan mempengaruhi jumlah energi *termal* yang dihasilkan dalam ruang bakar sehingga dapat memaksimalkan proses pembuatan uap.

3.5. Perbandingan Parameter Operasional *Bagasse Boiler* Standar dan Aktual

Dari hasil pengolahan data dan analisis diperoleh hasil perbandingan parameter operasional *bagasse boiler* standar dan parameter operasional aktual rata-rata yang dicapai seperti ditampilkan pada tabel 4.

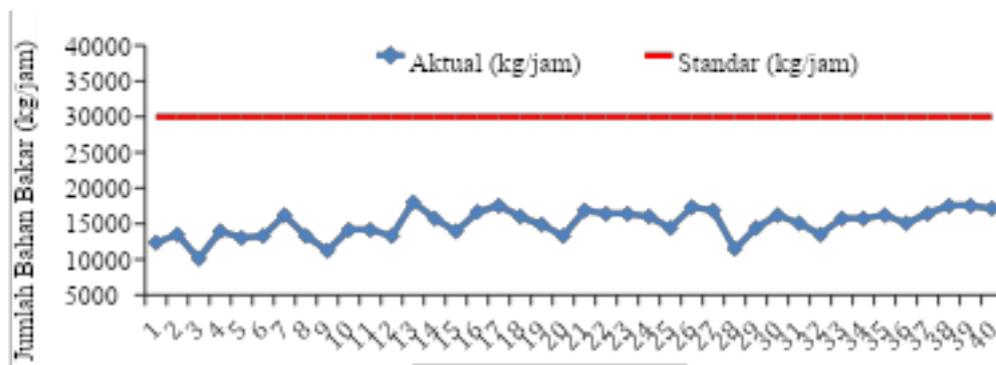
Tabel 4. Perbandingan Parameter Operasional *Bagasse Boiler* Standar dan Aktual

No	Deskripsi	Standar	Aktual	Satuan
1	Jumlah Uap	60	45,9	ton/jam
2	Temperatur Uap	400	5	°C
3	Tekanan Uap	3,24	2,94	Mpa
4	Tekanan Air Umpan	4,6	4,6	Mpa
5	Temperatur Air Umpan	105 - 110	99	°C
6	Jumlah Konsumsi Bahan Bakar	35,2	13,7	ton/jam
7	Efisiensi	84,8	61,1	%

Berdasarkan tabel 4 tersebut dapat disimpulkan bahwa selama pengoperasian *bagasse boiler* di PT. GMM-BULOG Blera tidak mencapai nilai parameter operasional standar. Hal ini disebabkan parameter aktual operasional tidak memenuhi standar desain yang sudah ditetapkan.

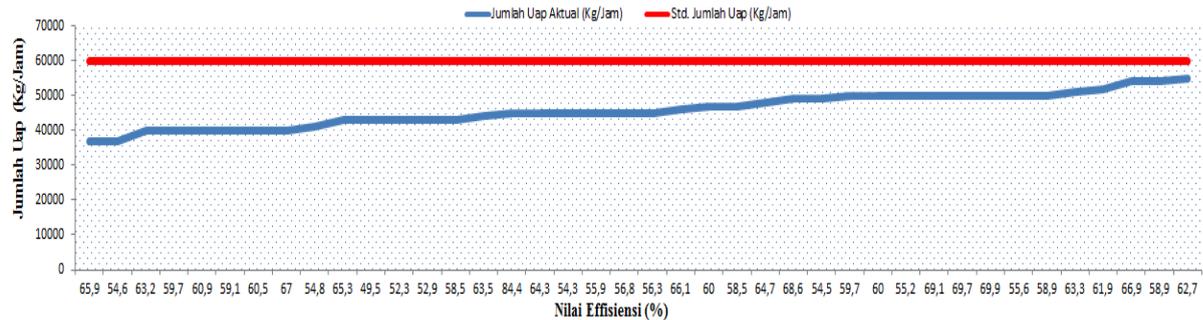
3.6. Pengaruh Jumlah Ampas Tebu (*Bagasse*) Terhadap Performa *Bagasse Boiler*

Berdasarkan data pada tabel 3, jumlah ampas tebu yang digunakan untuk bahan bakar *boiler* selama pengoperasian *bagasse boiler* seperti ditampilkan pada grafik gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Grafik Penggunaan Ampas Tebu(Bagasse)

Dari grafik gambar 5 di atas dapat dilihat bahwa jumlah bahan bakar ampas tebu yang seharusnya digunakan tidak pernah terpenuhi yaitu sebesar 35.195 kg/jam. Kurangnya suplai bahan bakar kedalam ruang bakar *bagasse boiler* dikarenakan alat pengumpan bahan bakar yaitu *bagasse feeder* hanya berfungsi 3 unit yang seharusnya berfungsi sebanyak 4 unit. Hal tersebut dapat dilihat pada *Log Sheet Operasional Bagasse Boiler*, bahwa unit *bagasse feeder* yang aktif bekerja adalah *bagasse feeder* 2, 3, dan 4. Secara teoritis, energi *thermal* yang dihasilkan dalam ruang bakar sangat dipengaruhi jumlah bahan bakar, semakin ideal jumlah bahan bakar yang digunakan maka *bagasse boiler* akan bekerja sesuai dengan kapasitas optimal. Berdasarkan data tabel 3 juga dapat disajikan grafik hubungan antara jumlah uap dan nilai efisiensi *bagasse boiler* yang dicapai, seperti ditampilkan pada grafik gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Grafik Nilai Efisiensi *Bagasse Boiler* Berdasarkan Jumlah Uap

Berdasarkan grafik gambar 6 di atas jumlah uap yang dihasilkan *bagasse boiler* juga tidak pernah tercapai. Sesuai spesifikasi *boiler* yang ditetapkan pabrik pembuatnya jumlah uap seharusnya adalah 60.000 kg/jam untuk mencapai efisiensi sebesar 84,8 %. Faktor rendahnya kapasitas uap yang dihasilkan oleh *bagasse boiler* adalah jumlah bahan bakar pada ruang bakar yang tidak mencukupi, sehingga energi *thermal* yang dibutuhkan untuk memanaskan air menjadi terbatas dan tidak mampu bekerja secara maksimal. Kurangnya jumlah bahan bakar yang disuplai ke ruang bakar disebabkan tidak semua *bagasse feeder* dioperasikan, sehingga jumlah ampas tebu di ruang bakar tidak terpenuhi setiap jamnya. Selain itu untuk mengatasi jumlah bahan bakar ampas tebu yang kurang, sehingga menyebabkan jumlah uap rendah, adalah dengan mengurangi kandungan air dalam ampas tebu dan dengan menaikkan persentase dari ampas yang dihasilkan dari proses penggilingan. Hal ini berdasarkan analisis dalam penelitian Nugroho et al, (2021), kandungan air ampas tebu dikurangi dari 50% menjadi 45% dan persentase ampas yang dihasilkan ditingkatkan dari 24% menjadi 28,5%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis efisiensi *bagasse boiler* dengan menggunakan metode langsung di PT. GMM-BULOG Blora dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Parameter standar operasional *bagasse boiler* selama proses pengambilan data tidak pernah tercapai. Hal ini disebabkan salah satunya adalah jumlah bahan bakar ampas tebu yang digunakan rata-rata hanya 13,7 ton/jam yang seharusnya idealnya adalah 35,2 ton/jam. Kurangnya bahan bakar dalam ruang bakar mengakibatkan energi uap yang dihasilkan oleh *bagasse boiler* menjadi berkurang dikarenakan energi *thermal* yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit.
- 2) Penyebab kurangnya bahan bakar dalam ruang bakar adalah dikarenakan *bagasse feeder* nomor 1 pada *boiler* tidak bekerja, sehingga suplai ampas tebu tidak terpenuhi setiap jamnya.
- 3) Perlu dilakukan tindakan-tindakan untuk meningkatkan efisiensi *bagasse boiler*, yaitu mengoperasikan secara penuh *bagasse feeder* sehingga suplai ampas tebu terpenuhi setiap jamnya, menurunkan kadar air dalam ampas tebu dan meningkatkan persentase ampas dari proses penggilingan tebu di stasiun giling.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada dosen pembimbing dan para dosen penguji, serta kepada rekan-rekan penulis, sehingga Tugas Akhir ini dapat penulis selesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, D., & Hardjono (2021). Penentuan Efisiensi *Boiler* Dengan Menggunakan Metode Langsung di PT. X Lumajang. *Jurnal Teknologi Separasi: Distilat*, 7, 421 – 426.
- Bhargava, A. (2016). Wet Scrubber – Design of Spray Tower to Control Air Pollutants. *Internasional Journal of Environmental Planning Development*, 2, 68 – 73.

- Hugot, E. (1986). *HandBook of Cane Sugar Engineering*. Third Edition. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Juliyanti, A., & Fitriani (2023). Analisa Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar (*Fiber & Shell*) dan Air Pada Boiler *ADVANCE* 30 ton PT. Citra Sawit Lestari. *Jurnal ElektriKa Borneo (JEB)*, 9, 94 – 103.
- Nugroho, G., Fuchoiroh, I., Mashuri, Subiyanto, H., & Wardhani, R. (2021). Analisa Ampas Tebu Sebagai Bahan Bakar Boiler Pada Produksi Gula Tahun 2018 di PG Krobot Baru II Malang. *Jurnal AMORI*, 2, 1, 59 – 63.
- Pambudi, R. (2019). *Utilitas di Pabrik Gula PT. Gendhis Multi Manis – BULOG Blora*. Yogyakarta: Politeknik LPP Yogyakarta.
- Pravitasari, Y., Malino, B. M., & Mara, N., M. (2017). Analisis Efisiensi *Boiler* Menggunakan Metode Langsung. *Jurnal Prisma Fisika*, V, 01, 09 – 12.
- Rein, P., W. (2007). *Cane Sugar Engineering*. Berlin: BERTENS.
- Shen C., Zhao Y., & Li Y. (2018). Design Of Steam Temperature Control System. *Jurnal EndPress, Thermal Science*, 2018, 1 – 6.
- Sugiharto, A. (2020). Perhitungan Efisiensi *Boiler* Dengan Metode Secara Langsung Pada *Boiler* Pipa Api. Cepu: PPSDM MIGAS.
- Teir, S., dan Kulla, A. (2002). *Boiler Calculations*. Helsinki University of Technology Departement of Mechanical Engineering: Espoo 2002.