

UNJUK KERJA BOILER TIPE CFB PADA UNIT 2 PLTU SULUT-3 DENGAN METODE LANGSUNG

Rival Maulana¹⁾, Frans P. Sappu²⁾, Benny Maluegha³⁾
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu pembangkit listrik bertenaga uap yang nantinya memutar turbin yang tersambung pada generator untuk menghasilkan listrik. Uap dapat diperoleh dari ketel uap yang sering disebut *boiler*. *Boiler* memproduksi uap dengan memanaskan air oleh energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar. Penelitian ini diarahkan untuk menganalisa seberapa efisien boiler pada unit pembangkit PLTU Sulut-3 dalam menyerap energi panas dari bahan bakar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan efisiensi dengan metode langsung atau metode *Input-Output*. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi pada variasi daya pada 30MW diperoleh efisiensi rata-rata 78%, pada daya 45 MW diperoleh efisiensi rata-rata 80.09%, dan pada daya 55MW diperoleh rata-rata efisiensi 80.25%. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar produksi uap pada *boiler* maka semakin besar efisiensinya.

Kata Kunci : Efisiensi *boiler*, Metode langsung

ABSRTACT

Steam power plant is a steam powered power plant that rotate a turbine connected to generator to generate electricity. Steam produced by an equipment that called a boiler. Boilers produce steam by heating water with heat energy that generated by the combustion of fuel. This study was conducted to analyze how effective the boiler at PLTU Sulut-3 generating unit in absorbing heat energy from the fuel. The method used in this research is the calculation of efficiency with the direct method or the Input-Output method. Based on the results of efficiency calculations at 30MW power variations get an average efficiency of 78%, at 45 MW get an average efficiency of 80.09%, and at 55MW an average efficiency of 80.25%. From the results of the study, it was concluded that the greater the steam production in the boiler, the greater the efficiency.

Keywords: *boiler efficiency, direct method*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu pembangkit energi berupa tenaga listrik yang

menggunakan tekanan uap sebagai media pemutar turbin. Uap tersebut diperoleh dari pemanasan air melalui pembakaran batu bara (Riantra,2020). PLTU berbahan bakar batu bara merupakan unit

pembangkitan listrik terbesar di dunia saat ini. Pada 2020 persentase 34% listrik dunia bergantung pada batubara karena biaya PLTU batubara cenderung lebih rendah dari pembangkit listrik lainnya (ember-climate,2021). Pembangkit listrik berbahan bakar batu bara merupakan unit pembangkitan listrik terbanyak yang digunakan di Indonesia. Salah satu PLTU di Indonesia adalah PLTU Sulut 3.

Boiler atau ketel uap merupakan sebuah perangkat yang berfungsi mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang terdapat pada pipa-pipa di dinding ketel uap dengan memanfaatkan panas hasil dari pembakaran. Pembakaran dilakukan secara kontinu dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar.

Boiler di PLTU Sulut 3 menggunakan bahan bakar minyak solar untuk *start up* atau penyalaan awal sementara bahan bakar primernya menggunakan batubara, memiliki kapasitas uap 218 ton uap/jam, bertekanan *outlet superheater* 8,83 MPa, dan suhu uap keluar *superheater* 535 °C. Dengan kapasitas serta kondisi uap yang dihasilkan dari *boiler* dapat menggerakkan

turbin uap dengan *output* daya sebesar 50MW.

Pada tugas akhir ini penulis akan membahas tentang seberapa besar efisiensi *boiler* pada Unit 2 di PLTU Sulut 3 dengan menggunakan metode langsung. Metode ini menggunakan data aktual lapangan dalam melakukan analisis serta perhitungan untuk mendapatkan nilai efisiensi pada sebuah *boiler*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana efisiensi *boiler* pada Unit 2 PLTU Sulut-3.

1.3 Batasan Masalah

Agar tujuan penulisan sesuai dengan yang diharapkan serta terfokus pada judul, maka penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas. Adapun batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah apa yang digunakan adalah menggunakan data *logsheet Boiler* Unit 2 pada tanggal 2 Mei 2022 sampai 29 Juni 2022.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian skripsi ini adalah untuk menentukan nilai efisiensi *boiler* pada unit 2 PLTU Sulut

1.4 Manfaat Penelitian

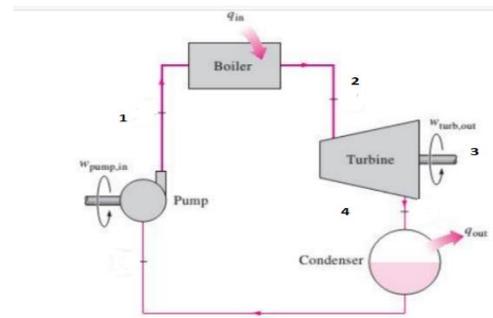
Manfaat yang diharapkan dari skripsi ini adalah

1. Menambah ilmu pengetahuan bagi penulis maupun pembaca mengenai cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU.
2. Hasil dari penelitian ini dapat dipakai menjadi salah satu referensi untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga uap pada unit 2 PLTU Sulut 3.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

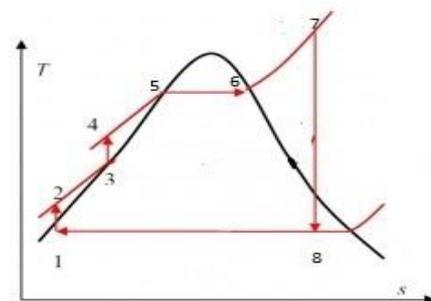
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit energi listrik yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi potensial uap untuk menggerakkan poros sudu turbin. Pada prinsipnya, PLTU mengambil energi kalor pada batubara yang terbakar didalam ketel uap untuk memproduksi uap, kemudian dipindahkan ke dalam turbin, kemudian turbin mengubah energi kalor menjadi energi mekanis dalam bentuk gerak putar. Putaran seporos dengan generator ini yang nantinya menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Siklus fluida kerja sederhana pada PLTU (sudiarmanto, 2020)

2.2 Siklus Rankine

Siklus ini merupakan rangkaian sebuah proses dimana dimulai dari suatu tingkat kondisi yang akan Kembali ke tingkat kondisi semula dan selalu berulang. Oleh karena itu menurut (Sutopo, P.F, 2019) siklus rankine merupakan siklus ideal yang mendasari siklus kerja PLTU uap cair maka paling baik siklus itu digambarkan dengan diagram $T - s$ pada Gambar 2.2 dengan garis yang menunjukkan uap jenuh dan cair jenuh.



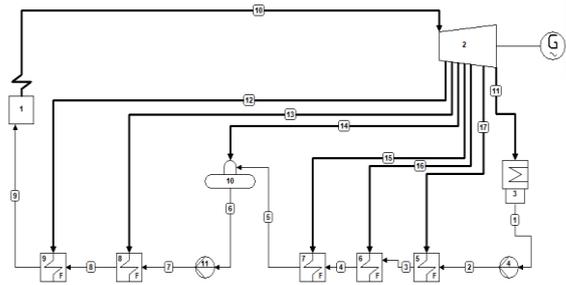
Gambar 2.2 Diagram T-s Siklus Rankine (Sudirmanto, 2020)

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat proses yang terjadi dari titik 1 ke 2 adalah kenaikan tekanan pada air menggunakan pompa kondensat. Kemudian pada titik 2 ke 3 air melewati proses pemanasan awal pada *low pressure heater*. Setelah mengalami kenaikan lagi tekanan pada titik 3 ke 4 oleh pompa *feedwater*, air akan melalui proses pemanasan lanjutan pada titik 4 ke 5 oleh *high pressure heater* dan *economizer*.

Pada titik 5 ke 6 air berubah menjadi uap setelah proses pemanasan pada *wall tube* dan *downcomer* di dalam boiler. Kemudian pada titik 6 ke 7 uap air menjadi uap panas lanjut atau *superheated steam* pada *superheater*. Pada titik 7 ke 8 uap panas mengalami proses ekspansi di dalam turbin yang mengakibatkan turunnya suhu uap. Pada titik 8 ke 1 uap kembali berubah menjadi air setelah proses pendinginan di dalam kondensor.

2.3 Diagram Alir

PLTU Sulut 3 menggunakan fluida air uap dengan sirkulasi tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang untuk menghasilkan uap jenuh untuk memutar poros turbin. Diagram alir PLTU Sulut 3 dapat dilihat pada diagram alir PLTU Sulut 3 Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Diagram Alir PLTU Sulut 3

Keterangan gambar:

- | | |
|--------------------|---------------|
| 1. Boiler | 7. LPH 4 |
| 2. Turbin | 8. HPH 2 |
| 3. Kondenser | 9. HPH 1 |
| | Dan Hotwell |
| 4. Pompa Kondensat | air umpan |
| 5. LPH 6 | 11. Deaerator |
| 6. LPH 5 | |

Pada awalnya air dari proses *treatment* memasuki *steam drum* untuk dipanaskan pada *boiler* dan menjadi uap. Uap yang telah terqualifikasi selanjutnya memasuki turbin sebagai media penggerak poros turbin dan sebagian dari uap tersebut mengalir melalui jalur pipa ekstraksi sebagai media penukar panas pada pemanas bertekanan tinggi dan pemanas bertekanan rendah. Uap yang keluar melalui *ekhaust* turbin akan terkondensasi menjadi air pada kondensor dan ditampung pada *hotwell*. Air yang terdapat pada *hotwell* selanjutnya di berikan tekanan pada pompa kondensat

dan melalui pemanasan awal pada pemanas bertekanan rendah.

Proses selanjutnya air melalui *deaerator* untuk mengurangi kadar oksigen dan diberikan lagi tekanan oleh pompa umpan dan melalui pemanasan bertekanan tinggi pada pemanas bertekanan tinggi. Air yang bersuhu dan bertekanan tinggi selanjutnya dipanaskan kembali pada *boiler* sampai menjadi uap.

2.4 Komponen Utama PLTU

2.4.1 Boiler (Ketel Uap)

Boiler atau Ketel Uap merupakan alat penukar kalor dimana energi panas yang dihasilkan pada ruang pembakaran diubah menjadi energi potensial berupa uap. Uap yang dihasilkan mempunyai suhu dan tekanan tinggi yang nantinya digunakan sebagai media penggerak pada turbin.

2.4.2 Turbin Uap

Turbin uap merupakan penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik yang selanjutnya menjadi energi mekanis dalam putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakan, pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap poros turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan energi listrik

2.4.3 Generator

Merupakan sebuah sistem dalam PLTU yang bertujuan untuk mengkonversikan energi mekanik yang berasal dari Turbin uap menjadi energi listrik dengan melalui teknologi medan magnet pada excitation system. Komponen-komponen yang tersusun dalam sistem ini yaitu Generator, proteksi kebakaran untuk Generator, Excitation System, sistem pendingin, penyerap muatan lebih, dan lainnya.

2.4.4 Kondensor dan Feed Water Heating Plant

Merupakan sebuah sistem dalam PLTU yang bertujuan untuk mengkonversi ulang uap yang mempunyai tekanan rendah berubah kembali menjadi air, dengan menggunakan pendingin atau dengan Blow-Down Condenser untuk melakukan

2.5 Analisis Batubara

Analisis batubara terdiri dari: analisis ultimat, analisis proksimat dan analisis fisika. Analisis ultimate menganalisa seluruh elemen komponen batubara, padat atau gas dan analisis proksimat menganalisis hanya fixed carbon, bahan yang mudah menguap, kadar air dan persen abu sedangkan analisis fisika menentukan nilai kalor, indeks ketergilingan dan berat jenis dari batubara tersebut. Analisis ultimate harus

dilakukan oleh laboratorium dengan peralatan yang lengkap oleh ahli kimia yang terampil, sedangkan analisis proksimat dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana.

2.5.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat batubara bertujuan untuk menentukan kadarkadar moisture (air dalam batubara). Kadar moisture ini mencakup pula nilai free moisture serta total moisture, ash (abu), volatile matters (zat terbang), dan fixed carbon (karbon terlambat). Moisture ialah kandungan air yang terdapat dalam batubara sedangkan ash (abu) merupakan kandungan residu noncombustible yang umumnya terdiri dari senyawasenyawa silika oksidasi (SiO₂), dan kalsium dioksida (CaO), karbonat, dan mineral-mineral lainnya. Volatile matters adalah kandungan batubara yang terbebaskan pada temperatur tinggi tanpa keadaan oksigen. *Fixed carbon* ialah kadar karbon tetap yang terdapat dalam batubara setelah *volatile matter* dipisahkan dengan batubara.

2.5.2 Analisis Ultimate (Analisis Elementer)

Analisis ultimate dilakukan untuk menentukan kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur

(S) dalam batubara. Prosedur analisis ultimat ini cukup ringkas, cukup dengan memasukkan sampel batubara ke dalam alat dan hasil akan muncul kemudian pada layer.

2.5.3 Nilai kalor (Calorific Value)

Nilai kalor yaitu besarnya panas yang dihasilkan dari pembakaran batubara, yaitu dinyatakan dalam kkal/kg. terdapat dua jenis nilai kalor pada batubara yakni, nilai kalor kotor atau *gross calorific value* dan nilai kalor bersih atau *net calorific value*.

2.6 Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada *boiler* adalah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja *boiler* atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi *boiler* yaitu: metode langsung dan metode tidak langsung.

2.6.1 Metode Langsung

Perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung merupakan perhitungan efisiensi yang menggunakan perbandingan antara fluida kerja (air dan

uap) dengan energi yang terkandung di dalam bahan bakar (anonimous,2015). Dikenal juga sebagai metode *input-output*, karena kenyataan metode ini hanya memerlukan keluaran/*output* (steam) dan panas yang masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan rumus;

$$\text{Efisiensi termal boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100 \dots\dots\dots 2.1$$

$$\text{Efisiensi termal boiler } (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100 \dots\dots\dots 2.2$$

dimana

Q = jumlah uap yang dihasilkan per jam, kg/jam.

q = jumlah bahan bakar yang digunakan per jam, kg/jam.

GCV = jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar, kkal/kg bahan bakar.

h_g = entalpi uap jenuh, kkal/kg uap

h_f = entalpi air umpan, kkal/kg uap

2.6.2 Metode tidak langsung

Metode Tidak Langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk. Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTU Sulut 3 yang berada di desa Kema 1, kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara, pada 1 April 2022 sampai 1 Juni 2022.

3.2 Alat dan bahan

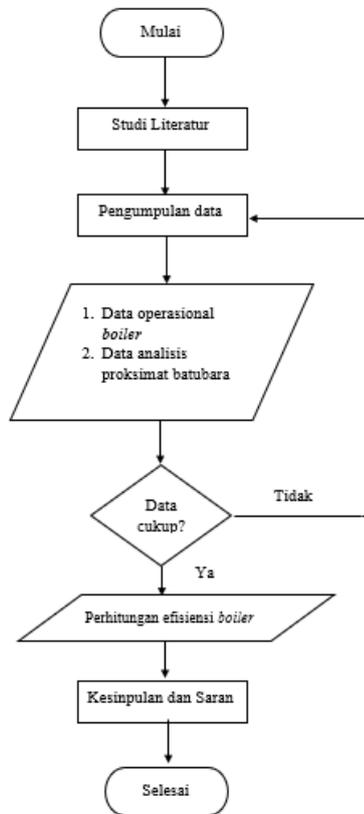
Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah

1. Data operasional aktual dari PLTU Sulut3.
2. Pengolahan data menggunakan *software Microsoft excel* untuk mempermudah perhitungan.
3. *Software SteamTab* untuk mempermudah perhitungan entalpi agar mempermudah perhitungan data.

3.3 Prosedur Penelitian

Studi literatur mengenai rumus yang relevan untuk menghitung efisiensi boiler, dan cara kerja PLTU Sulut 3. Proses selanjutnya adalah pengumpulan data operasional *boiler* unit 2 dan data analisis batubara. Data yang dikumpulkan diperoleh langsung dari petugas PLTU Sulut 3 Setelah data dikumpulkan, data selanjutnya diolah untuk menentukan besaran efisiensi pada *boiler*. Tahap

selanjutnya adalah pembahasan dan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengolahan yang telah dilakukan.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengamatan

Untuk memudahkan analisis data, hasil pengamatan di kelompokkan dalam 4 bagian berdasarkan waktu pengamatan. Menurut penelitian yang dilakukan di PLTU Sulut-3 unit 2 maka diperoleh hasil sebagai berikut ini.

4.2.1 Perhitungan Efisiensi dengan metode output – input

Entalpi pada uap, dan entalpi pada air umpan dengan *SteamTab* pada daya 30 MW (tanggal 2 Mei 2022) didapatkan dengan menggunakan perangkat lunak *SteamTab* dengan hasil: $h_g = 3494$ kJ/kg dan $h_f = 846$ kJ/kg. Nilai entalpi yang lain diperoleh dengan cara yang sama. Hasil entalpi keseluruhan disajikan dalam Tabel.

Tabel 4.3 Data Entalpi Uap dan Air Umpan

Tanggal	30MW		45 MW		55MW	
	h_g (kJ/kg)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	h_f (kJ/kg)
02/05/2022	3494	846	3490	913.5	3484	977.8
03/05/2022	3486	856.5	3485	913.4	3481	977.7
04/05/2022	3491	846	3480	913.8	3479	977.9
05/05/2022	3493	846	3485	913.8	3477.6	977.9
06/05/2022	3490	846.2	3481	913.8	3483	977.7
07/05/2022	3496.6	845.9	3485	913.7	3483	977.7
08/05/2022	3493	846	3480	913.7	3480	977.8
09/05/2022	3490	846.1	3480	913.8	3480	977.8
10/05/2022	3492	846	3488	913.5	3483.4	977.4
11/05/2022	3492	846	3488	913.5	3485.6	977.8
12/05/2022	3495	845.8	3489	813.6	3471	977.8
13/05/2022	3481	846.4	3479	913.9	3480	977.8
14/05/2022	3490	846.1	3484	913.9	3479	977.9
15/05/2022	3489.9	846.4	3484	913.7	3477	977.9
16/05/2022	3493	846	3480	913.7	3481	977.9
17/05/2022	3493	846	3484	913.7	3479	977.9
18/05/2022	3496	845.8	3481	913.7	3484	977.7
19/05/2022	3502	845.8	3486	913.6	3475	977.7
20/05/2022	3493	846	3486	913.6	3478	977.9
21/05/2022	3488	846.2	3484	913.6	3470	977.9
22/05/2022	3492	846	3486	913.6	3481	977.7
23/05/2022	3492	846	3487	913.7	3480	977.9
24/05/2022	3477	846	3487	913.7	3480	977.9
25/05/2022	3493	846	3477	913.7	3480	977.7
26/05/2022	3485	846	3477	913.7	3487	977.6
27/05/2022	3494	846	3496	913.3	3486	977.7
28/05/2022	3498	845.8	3480	913.7	3480	977.7
29/05/2022	3501	845.9	3485	913.7	3481	977.7
30/05/2022	3491	846	3477.7	913.7	3478	977.8

Untuk menghitung efisiensi boiler diperlukan konversi entalpi dari kilo joule per kilogram (kJ/kg) ke kilokalori per kilogram (kcal/kg).

$$h_g = 3494 \text{ (kJ/kg)} = 832.4 \text{ (kcal/kg)}$$

$$h_f = 846 \text{ (kJ/kg)} = 202.2 \text{ (kcal/kg)}$$

dimana, 1 kJ = 1/4.184 kcal

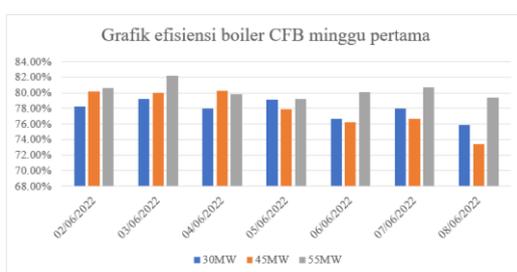
$$\begin{aligned} \text{Efisiensi boiler } (\eta) &= \frac{108.5 \times (835-202.2)}{21.8 \times 4028} \times 100\% \\ &= 78.3\% \end{aligned}$$

4.2.1.1 Hasil perhitungan efisiensi minggu pertama

Tabel 4.4 Hasil perhitungan efisiensi pada minggu pertama

Tanggal	Efisiensi (%)		
	30MW	45MW	55MW
02/05/2022	78.3%	80.2%	80.6%
03/05/2022	79.2%	80%	82.2%
04/05/2022	78%	80.3%	79.8%
05/05/2022	79.1%	77.9%	79.2%
06/05/2022	76.7%	76.2%	80.1%
07/05/2022	78%	76.7%	80.7%
08/05/2022	75.9%	73.4%	79.4%

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan efisiensi pada minggu pertama dengan variasi daya 30MW, 45MW dan 55MW. Perbandingan efisiensi pada minggu pertama dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik efisiensi *Boiler CFB* minggu pertama

Pada hasil perhitungan efisiensi di minggu pertama, efisiensi tertinggi sebesar 82.2% pada daya 50MW dan

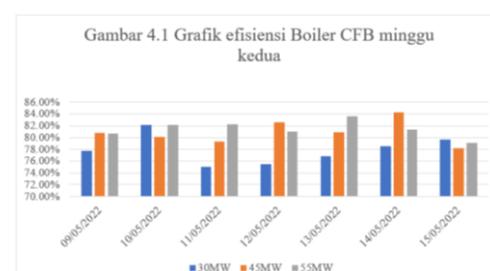
efisiensi terendah yaitu 73.4% pada daya 45MW. Lalu efisiensi rata-rata pada masing-masing variasi daya yaitu, 77.89% pada daya 30MW, 77.81% pada daya 45MW dan 80.29% pada daya 55MW.

4.2.1.2 Hasil perhitungan efisiensi minggu kedua

Tabel 4.5 Hasil perhitungan efisiensi minggu kedua

Tanggal	Efisiensi(%)		
	30MW	45MW	55MW
09/05/2022	77.7%	80.8%	80.7%
10/05/2022	82.1%	80.1%	82.1%
11/05/2022	75%	79.3%	82.3%
12/05/2022	75.5%	82.6%	81%
13/05/2022	76.8%	80.9%	83.6%
14/05/2022	78.5%	84.3%	81.4%
15/05/2022	79.7%	78.2%	79.1%

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan efisiensi pada minggu kedua dengan variasi daya 30MW, 45MW dan 55MW. Perbandingan efisiensi pada minggu kedua dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik efisiensi *Boiler CFB* minggu kedua

Pada hasil perhitungan efisiensi di minggu kedua, efisiensi tertinggi sebesar 84.3% pada daya 45MW dan efisiensi

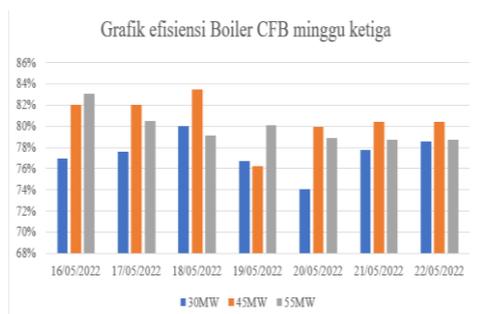
terendah yaitu 75% pada daya 30MW. Lalu efisiensi rata-rata pada masing-masing variasi daya yaitu, 77.9% pada daya 30MW, 80.89% pada daya 45MW dan 81.46% pada daya 55MW.4.2.1.3

Hasil Perhitungan efisiensi pada minggu ketiga

Tabel 4.6 Hasil perhitungan efisiensi minggu ketiga

Tanggal	Efisiensi (%)		
	30MW	45MW	55MW
16/05/2022	77%	82%	83.1%
17/05/2022	77.6%	82%	80.5%
18/05/2022	80%	83.5%	79.1%
19/05/2022	76.7%	76.2%	80.1%
20/05/2022	74.1%	79.9%	78.9%
21/05/2022	77.8%	80.4%	78.7%
22/05/2022	78.6%	80.4%	78.7%

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan efisiensi pada minggu ketiga dengan variasi daya 30MW, 45MW dan 55MW. Perbandingan efisiensi pada minggu ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik efisiensi Boiler CFB minggu ketiga

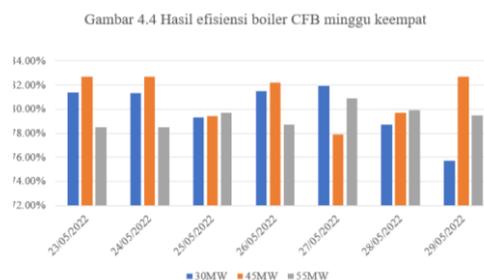
Pada hasil perhitungan efisiensi di minggu ketiga, efisiensi tertinggi sebesar 83.5% pada daya 45MW dan efisiensi terendah yaitu 74.1% pada daya 30MW. Lalu efisiensi rata-rata pada masing-masing variasi daya yaitu, 77% pada daya 30MW, 81% pada daya 45MW dan 80% pada daya 55MW.

4.2.1.4 Hasil perhitungan efisiensi pada minggu keempat

Tabel 4.7 Hasil perhitungan efisiensi minggu keempat

Tanggal	Efisiensi (%)		
	30MW	45MW	55MW
23/05/2022	81.4%	82.7%	78.5%
24/05/2022	81.3%	82.7%	78.5%
25/05/2022	79.3%	79.4%	79.7%
26/05/2022	81.5%	82.2%	78.7%
27/05/2022	81.9%	77.9%	80.9%
28/05/2022	78.7%	79.7%	79.9%
29/05/2022	75.7%	82.7%	79.5%

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan efisiensi pada minggu keempat dengan variasi daya 30MW, 45MW dan 55MW. Perbandingan efisiensi pada minggu keempat dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil efisiensi *boiler CFB* minggu keempat

Pada hasil perhitungan efisiensi di minggu keempat, efisiensi tertinggi sebesar 82.7% pada daya 45MW dan efisiensi terendah yaitu 75.8% pada daya 30MW. Lalu efisiensi rata-rata pada masing-masing variasi daya yaitu, 79.9% pada daya 30MW, 81.04% pada daya 45MW dan 79.39% pada daya 55MW.

4.3 Pembahasan

Pada proses operasional *boiler* menghasilkan uap menyesuaikan kebutuhan turbin dalam memasok daya listrik ke jaringan, variasi daya biasanya disesuaikan dengan kebutuhan daya pada jaringan. Variasi daya ini menyebabkan pengoperasian *boiler* sangat bervariasi dalam menentukan komposisi antara jumlah udara dan bahan bakar untuk mencapai kondisi uap yang sesuai dengan kebutuhan turbin.

Dilihat pada setiap tabel hasil pengamatan variasi daya berpengaruh pada besaran jumlah aliran serta tekanan pada uap, jika mengkalkulasikan entalpi pada kondisi uap dengan entalpi pada air umpan di setiap variasi daya maka dapat menghasilkan jumlah energi yang diperlukan bahan bakar untuk mencapai kondisi uap tersebut.

Proses pengambilan data dilakukan dengan mengambil data operasional *boiler* Unit 2 PLTU Sulut-3 dan proses perhitungan menggunakan metode langsung atau metode *Input-Output*.

Dari hasil perhitungan di atas didapat rata-rata efisiensi pada masing-masing variasi daya yaitu, 78.29% pada daya 30MW, 80.09% pada 45MW, dan 80.25% pada 50MW. Dari hasil tersebut dapat dilihat terjadi kenaikan efisiensi pada setiap kenaikan daya yang dipengaruhi oleh kenaikan entalpi pada air umpan yang membuat rasio penggunaan batubara menurun.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan data operasional maka di dapat rata-rata efisiensi *boiler* PLTU Sulut-3 unit 2 dengan metode langsung atau metode *Input-Output* pada variasi pembebanan daya adalah 78% pada daya 30MW, 80.09% pada daya 45MW, dan 80.25% pada daya 55MW.

5.2 Saran

1. Disarankan kepada pihak PLTU sulut-3 untuk mempelajari perhitungan efisiensi sebagai

pertimbangan dalam operasional *boiler*.

2. Mempelajari nilai kalor batubara untuk bahan pertimbangan jumlah konsumsi batubara agar mencapai efisiensi yang tinggi.
3. Melakukan evaluasi secara berkala pada pola operasi *boiler* untuk mempertimbangkan pola operasi berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya Lolla. 2021. Indonesia menentang tren global dengan penggunaan lebih banyak batu bara dalam pembangkitan listrik tenaga hibrida. *Ember-climate*, Maret.
- Aji, A.K dan Arif Budiman. 2020. Perhitungan Efisiensi (*Efficiency*) Mesin *Boiler* Jenis *Fire-Tube* Menggunakan Metode *Direct* dan *Indirect* Untuk Butiran-Butiran Pelet. *UG Jurnal*. Vol.14, Is. 12.
- Anonymous. 2016. *Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri*. BPPT, Jakarta.
- Ayu Aulia, Faizar Farid dan Wahyudi Zahar. 2021. Korelasi Parameter Analisis Proksimat dan Analisis Ultimat terhadap Nilai Kalori Batubara. *Jurnal Pertambangan dan Lingkungan* ISSN 2775-1384 Vol. 2, Is 6. pp. 21-30.
- Hendra Yudisaputro. *Jenis-jenis Boiler*. <http://berbagienergi.com/2017/03/18/jenis-jenis-boiler>. 18 Maret 2017.
- Imam, Muzaki dan Aqli Mursadin. 2019. Analisis Efisiensi *Boiler* dengan Metode Input-Output di Pt. Japfa Comfeed Indonesia Tnk. Unit Banjarmasin. *2SJME KINEMATIKA VOL.4 NO.1, 1 JUNI 2019*, pp 37-46..
- Sudirmanto dan Effendi, A.R. 2020. Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin Dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo. *Jurnal Power Plant*. Vol. 8, Is. 1, pp. 6-8.
- Sutopo, P.F. 2019. *Design of Organic Rankine Cycle (ORC) Power Plant System by Using Flat-Plate Solar Colector*. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, Vol.4, Is. 3, pp.199-207