



**JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING,  
MANUFACTURES, MATERIALS AND ENERGY**

Doi: 10.31289/jmemme.v6i1.5985

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jmemme>

**Analisis Pengaruh Ukuran Batubara Terhadap Performa PLTU  
dengan Jenis Boiler Tipe Chain Grate**

***Analysis Coal Size Effect on Power Plant Performance with Chain  
Grate Type of Boiler***

Muhammad Idris<sup>1\*</sup>, Anggi Prasetyo Wibisono<sup>1</sup>, Indra Hermawan<sup>1</sup>, Iswandi<sup>1</sup>, Uun  
Novalia Harahap<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Medan Area, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Harapan Medan, Indonesia

Diterima: 23-10-2021

Disetujui: 31-03-2022

Dipublikasikan: 30-05-2022

\*Corresponding author: [muhammad\\_idris@staff.uma.ac.id](mailto:muhammad_idris@staff.uma.ac.id)

**Abstrak**

Sesuai dengan standar ASME Section VII, Part. 13, ukuran batubara yang direkomendasikan untuk boiler stoker adalah 32 mm dengan campuran maksimal 25% berukuran 6 mm. Pada PLTU Tanjung Balai Karimun (2x7 MW) yang memiliki jenis boiler stoker bertipe chain grate untuk operasinya menggunakan batubara yang berukuran mayoritas halus yaitu 58% berukuran 31,5-2,38 mm dan 17 % berukuran < 2,38 mm. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan batubara ukuran halus tersebut terhadap performa pembangkit dari segi specific fuel consumption (SFC), turbine heat rate (THR), gross plant heat rate (GPHR), dan net plant heat rate (NPHR) serta efisiensi thermal siklus. Setelah dilakukan analisa dan perhitungan terhadap data operasi pembangkit diketahui bahwa untuk menghasilkan daya 1 kWh pembangkit yang menggunakan ukuran batubara halus memiliki selisih nilai SFCgross dan GPHR 26,80% lebih tinggi, SFCnetto dan NPHR 25,87% lebih tinggi, THR 0,47% lebih tinggi, namun nilai efisiensi thermal 4,34 % lebih kecil dibandingkan saat beroperasi menggunakan ukuran batubara sesuai ASME. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk memproduksi 1 kWh pembangkit yang beroperasi menggunakan batubara non-standar ASME membutuhkan energi serta batubara lebih banyak dibandingkan saat beroperasi menggunakan batubara sesuai standar ASME.

**Kata Kunci:** Boiler Stoker; ukuran batubara; performa pembangkit

**Abstract**

Based on ASME standard section VII, Part. 13, the recommended coal sizing for boiler stoker is 32 mm with maximum mixture 25% in 6 mm. PLTU Tanjung Balai Karimun (2x7 MW) which have a chain grate type of stoker boiler, for its operation using mostly in fine particle coal size with 58% in 31,5 mm – 2,38 mm and 17% in < 2,38 mm. Regarding the use of non-standard ASME coal size on boiler stoker, the aim of this research is to know the effect of that coal to the performance of the power plant in the term of specific fuel consumption (SFC), turbine heat rate (THR), gross plant heat rate (GPHR), net plant heat rate (NPHR) and thermal efficiency of the cycle. After analyzing and calculating the operation data of power plant, it is known that to produce 1 kWh of power, the power plant that using fine particle coal size has a 26,80% higher on SFCgross and GPHR value, 25,87% higher on SFCnetto and NPHR value, and also 0,47% higher on THR value, but the thermal efficiency value is 4,43% smaller than when the power plant operates using standard ASME coal size. So it can be concluded that to produce 1 kWh the power plant when operates using non-standard ASME coal size requires more both energy and coal than when the power plant operates using standard ASME coal size.

**Keywords:** Stoker Boiler; Coal Size; Plant Performance

**How to Cite:** Idris, M. 2022. Analisis Pengaruh Ukuran Batubara Terhadap Performa PLTU dengan Jenis Boiler Tipe Chain Grate, JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy), 6 (01): 104-116.

**PENDAHULUAN**

Boiler stoker telah diaplikasikan di Indonesia dengan memanfaatkan batubara kelas rendah sebagai bahan bakarnya [1], [2]. Ukuran batubara untuk boiler stoker sesuai dengan standar ASME (American Society of Mechanical Engineers)[2] Section VII, Part 13. Boiler Auxiliary adalah berukuran 32 mm dengan campuran maksimal 25% berukuran 6 mm [3]. Khusus untuk boiler stoker, ukuran partikel batubara memiliki pengaruh yang lebih signifikan terhadap distribusi temperatur dan karakteristik reaksi panas pada ruang bakar dibandingkan dengan nilai HHV-nya [4][5]. PLTU Tanjung Balai Karimun 2x7 MW yang dibangun dengan jenis boiler stoker bertipe chain grate, suplai batubara untuk operasinya memiliki ukuran mayoritas halus sehingga tidak sesuai dengan standar ASME. Berkaitan dengan penggunaan ukuran batubara non-standar ASME untuk boiler stoker bertipe chain grate maka perlu dilakukan analisis terhadap performa pembangkit tersebut dari segi specific fuel consumption (SFC), turbine heat rate (THR), gross plant heat rate, net plant heat rate (NPHR), dan juga efisiensi termal siklus pembangkit untuk mengetahui sejauh mana pengaruhnya terhadap performa pembangkit [5]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh ukuran batubara terhadap performa pembangkit dengan jenis boiler tipe chain grate dari segi konsumsi bahan bakar spesifik, THR, GPHR, NPHR, dan efisiensi termal siklus.

Specific fuel consumption (SFC) merupakan rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar terhadap daya listrik yang dibangkitkan [6], [7] . Secara sederhana SFC pada PLTU adalah jumlah konsumsi batubara yang dibutuhkan PLTU untuk menghasilkan daya 1 kW selama satu jam. Nilai SFC akan semakin menurun dengan bertambahnya beban pembangkit [8]. Berdasarkan standar perusahaan listrik negara No.80 tahun 1989 [9], SFC dapat dihitung dengan persamaan (1) dan persamaan (2).

$$SFC_{gross} = \frac{Q_f}{kW_{gross}} \dots\dots\dots (1)$$

$$SFC_{netto} = \frac{Q_f}{kW_{netto}} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana,  $Q_f$  merupakan Jumlah bahan bakar yang digunakan Persatuan waktu (kg/s),  $kW_{gross}$  : Jumlah daya yang keluaran generator (kW) dan  $kW_{netto}$  : Jumlah daya keluaran generator dikurangi daya pemakaian sendiri (kW).

Heat rate secara sederhana merupakan perbandingan antara total energi panas yang masuk sistem dibandingkan dengan total daya yang dibangkitkan. Nilai heat rate dipengaruhi oleh spesifikasi batubara [10]–[12]. Semakin kecil nilai heat rate maka semakin baik efisiensi pembangkit tersebut [13].

Turbine heat rate (THR) merupakan perbandingan laju panas yang masuk ke siklus uap terhadap daya keluaran generator. Secara lebih sederhana THR adalah jumlah kalor yang dibutuhkan siklus untuk menghasilkan 1 kW selama satu jam. THR dapat dihitung dengan persamaan (3) yang mengacu pada ASME PTC 6-2004 [14], [15].

$$THR = \frac{\dot{m}_{\text{steam}} \times (h_{\text{out}} - h_{\text{in}})}{\text{Gen. Output}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana  $\dot{m}_{\text{steam}}$  adalah laju aliran uap keluar boiler (kg/s),  $h_{\text{out}}$  sebagai entalpi uap masuk turbin (kJ/kg),  $h_{\text{in}}$  adalah entalpi air masuk boiler (kJ/kg), Gen. Output adalah Daya keluaran generator (kW).

Gross plant heat rate (GPHR) merupakan laju perbandingan panas dari bahan bakar yang masuk ke boiler terhadap output generator. GPHR dapat dihitung menggunakan persamaan (4) yang mengacu pada ASME PTC 6-2004.

$$GPHR = \frac{CV_{\text{fuel}} \times \dot{m}_{\text{fuel}}}{\text{Gen. Output}} \dots\dots\dots (4)$$

Net plant heat rate (NPHR) merupakan perbandingan laju panas dari bahan bakar yang masuk ke boiler terhadap net power output, dimana net power output didapat dari daya output generator dikurangi daya pemakaian sendiri atau auxiliary power. NPHR dapat dihitung dengan persamaan (5) yang mengacu pada ASME PTC 6-2004 [16]–[18].

$$NPHR = GPHR \times \left( \frac{\text{Gen. Output}}{\text{Gen. Output} - \text{Aux. Power}} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Efisiensi termal siklus menggambarkan sejauh mana masukan energi yang diberikan ke fluida kerja yang melewati boiler diubah menjadi kerja [14], [16], [19], Efisiensi termal dapat dihitung dengan persamaan (6).

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Kualitas uap dan entalpi uap keluar turbin ditentukan dengan persamaan (7) dan persamaan (8).

$$X = \frac{S_2 - S_{f2}}{S_{fg2}} \dots\dots\dots (7)$$

$$h_2 = h_{fg2} \times X + h_{f2} \dots\dots\dots (8)$$

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilaksanakan di PLTU Tanjung Balai Karimun 2x7 MW yang terletak di Kabupaten Tanjung Balai Karimun, Provinsi Kepulauan Riau. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah (1) *Boiler*, digunakan sebagai penghasil uap dari proses pemanasan air. Unit boiler dan sistim pembangkit yang dipergunakan diperlihatkan pada gambar 1. (2) Turbin, digunakan sebagai alat untuk mengkonversikan energi aliran uap menjadi energi gerak. Unit turbin yang dipergunakan diperlihatkan pada gambar 2. (3) Generator, digunakan sebagai alat untuk mengkonversikan energi gerak menjadi energi listrik. Unit generator yang dipergunakan diperlihatkan pada gambar 3. (4) *Pressure gauge*, digunakan untuk mengukur tekanan uap dan air. Alat ini diperlihatkan pada gambar 4. (5) Temperatur Indikator, digunakan untuk mengukur suhu uap dan air. Alat ukur ini diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 1. *Overview* Pembangkit



Gambar 2. Turbin



Gambar 3. Generator



Gambar 4. Pressure Gauge



Gambar 5. Temperatur Indikator

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: (1) Batubara, diperlukan sebagai bahan bakar pembangkit. Batubara diletakkan dalam gudang penampungan yang diperlihatkan pada gambar 6. (2) Air, diperlukan sebagai bahan untuk memproduksi uap. Air berasal dari air laut yang diproses lagi menjadi demin water, seperti diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 6. Batubara



Gambar 7. Sampel Air

Parameter-parameter yang akan diukur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laju aliran batubara (kg/s)
2. Laju aliran uap (kg/s)
3. Tekanan kerja uap ( $N/m^2$ )
4. Temperatur uap ( $^{\circ}C$ )
5. Tekanan Kondensor ( $N/m^2$ )
6. Temperatur air pengumpan ( $^{\circ}C$ )
7. Tekanan air pengumpan setelah melewati boiler feed pump (BFP) ( $N/m^2$ )
8. Daya keluaran generator (kW)
9. Daya pemakaian sendiri (kW)

Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode observasi langsung dimana setiap parameter diukur saat pembangkit beroperasi menggunakan batubara non-standar ASME. Sebagai data pembanding dalam penelitian ini digunakan data operasi pada saat performance test dimana menggunakan batubara standar ASME untuk operasinya. Setelah semua data terkumpul, dilakukan perhitungan terhadap  $SFC_{gross}$  berdasarkan persamaan (1),  $SFC_{netto}$  berdasarkan persamaan (2), THR berdasarkan persamaan (3), GPHR berdasarkan persamaan (4), NPHR berdasarkan persamaan (5), dan efisiensi termal dengan persamaan (6). Selanjutnya dilakukan pembandingan hasil

perhitungan data antara operasi pembangkit saat menggunakan ukuran batubara non-standar ASME dengan operasi pembangkit saat menggunakan ukuran batubara standar ASME.

Urutan langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Menyiapkan peralatan dan bahan, (2) Menyiapkan lembar checklist parameter yang akan diukur, (3) Memeriksa dan memastikan pembacaan alat ukur dapat berfungsi sebagaimana mestinya, (4) Memastikan pembangkit dalam kondisi beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME, (5) Mencatat semua parameter pengukuran yang dibutuhkan bila pembangkit mencapai beban >75% kapasitas pembangkit, (6) Menyiapkan parameter operasi pembangkit saat dilakukannya performance test beban 75% kapasitas pembangkit, (7) Menghitung nilai SFC, THR, GPHR, NPHR, dan efisiensi termal, (8) Membandingkan nilai SFC, THR, GPHR, NPHR, dan efisiensi termal saat pembangkit beroperasi menggunakan ukuran batubara no-standar ASME dengan saat pembangkit beroperasi dengan menggunakan ukuran batubara standar ASME, dan (9) penarikan kesimpulan dari hasil penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran batubara yang digunakan untuk operasi PLTU Tanjung Balai Karimun saat penelitian ini dilaksanakan yaitu 58% berukuran 31,5 – 2,38 mm, dan 17 % berukuran < 2,38 mm sehingga dapat dikatakan bahwa ukuran batubara tersebut non-standar ASME. Setelah dilakukan pencatatan terhadap parameter pengukuran pada saat pembangkit beroperasi maka diperoleh data yang tersaji pada tabel 1.

Tabel 1. Data operasi pembangkit

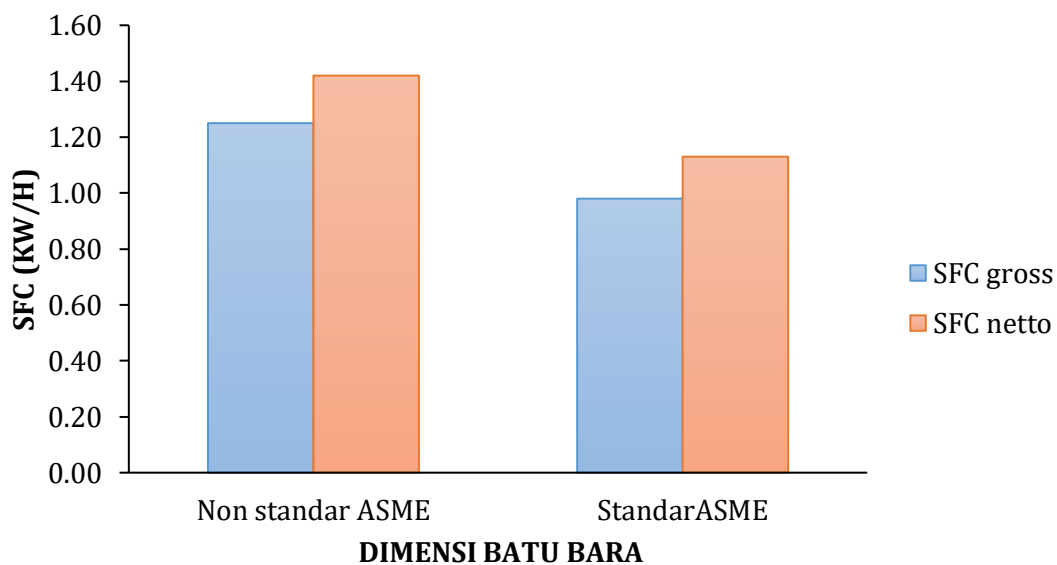
Parameter	Batu bara Berdasarkan Dimensi	
	Non-standar ASME	Standar ASME
Laju Aliran Batubara (kg/s)	24180.000	1,69
Laju Aliran Uap (kg/s)	88444.000	77167.000
Tekanan Uap (N/m <sup>2</sup> )	4.512.600	4.877.532
Suhu Uap °C	483,2	485,28
Tekanan Kondensor (N/m <sup>2</sup> )	10.840	7.000
Suhu Air Pengumpan °C	53.540	44,91
Tekanan Air Pengumpan Setelah BFP (N/m <sup>2</sup> )	6.000.000	6.500.000
Daya Keluaran Generator (kW)	6.979,4	6.185,16
Daya Pemakaian Sendiri (kW)	837,4	781889.000



Perhitungan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) pembangkit saat beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME dan standar ASME, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 8. Berdasarkan hasil ini dapat dideskripsikan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik dipengaruhi oleh dimensi bahan bakar.

Tabel 2. Komparasi nilai sfc non standar ASME dan standard ASME

SFC (kW/h)	metode	Dimensi Batu Bara	
		Non standar ASME	Standar ASME
SFC <sub>gross</sub>	pers.1	1.250	0.980
SFC <sub>netto</sub>	pers.2	1.420	1.130



Gambar 8. Komparasi nilai sfc non standar ASME dan standard ASME

Untuk menghitung nilai turbine heat rate (THR) pembangkit saat pembangkit beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME dan standar ASME dipergunakan beberapa parameter seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 [20].

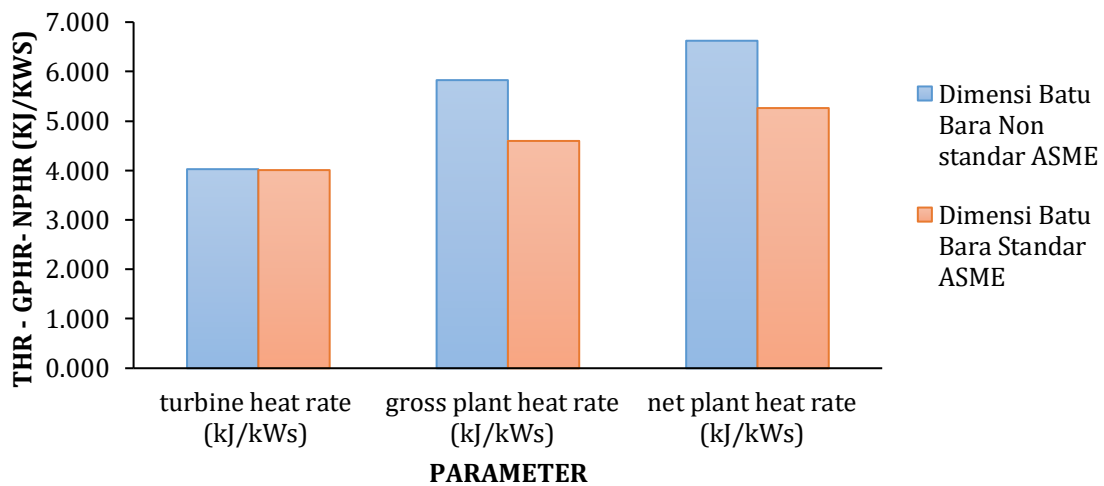
Tabel 3. Parameter perhitungan THR

Parameter	Dimensi Batu Bara	
	Non standar ASME	Standar ASME
Temperatur uap °C	483.200	485.280
Tekanan uap N/m <sup>2</sup>	4.512	5.000
H <sub>out</sub> super heated water kJ/kg	3401.357	3400.108
Temperatur air umpan °C	53.540	44.910
H <sub>in</sub> super heated water kJ/kg	224.151	188.064

Maka diperoleh hasil perhitungan nilai *turbine heat rate* (THR), *gross plant heat rate* (GPHR) dan *net plant heat rate* (NPHR) sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 4, dan grafik komparasi perhitungannya dapat dilihat pada gambar 9 [21].

Tabel 4. Hasil perhitungan THR-GPHR-NPHR

Parameter	metode	Dimensi Batu Bara	
		Non standar ASME	Standar ASME
Turbine heat rate (kJ/kWs)	pers. 3	4.026	4.007
Gross plant heat rate (kJ/kWs)	pers. 4	5.827	4.597
Net plant heat rate (kJ/kWs)	pers. 5	6.623	5.262

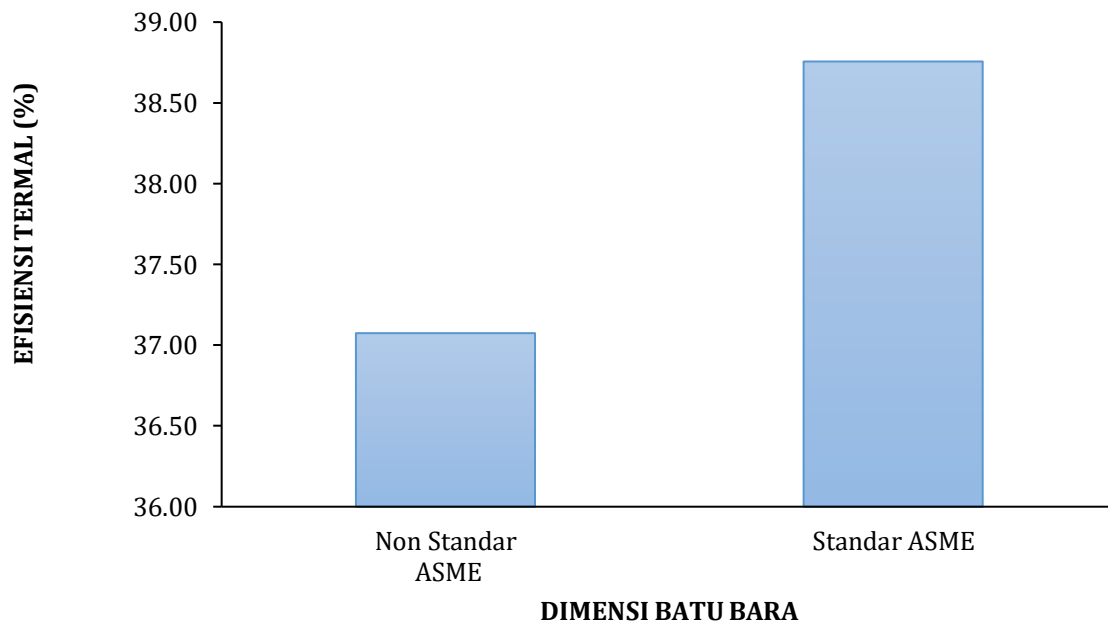


Gambar 9. Komparasi THR-GPHR-NPHR non standard ASME dan standar ASME

Perhitungan nilai efisiensi termal siklus saat pembangkit beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME dan standar ASME didasarkan pada persamaan (6) dan beberapa parameter dan karakteristik uap yang tertulis pada tabel 4. Gambar 10 merupakan deskripsi perbedaan batu bara berdasarkan dimensi non standar ASME dengan Standar ASME, dimana jika dilihat dari gambar tersebut bahwa efisiensi termal menggunakan batu bara berdimensi standar ASME cenderung lebih tinggi dibanding dengan non standar ASME. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka perbandingan performa pembangkit antara penggunaan dimensi batubara non-standar ASME dan dimensi batubara standar ASME dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Parameter dan karakteristik uap

Parameter	Non Standar ASME	Standar ASME
Tekanan uap masuk kondensor (kPa)	10.84	10.84
Entalpi uap- superheated water ; $h_1$ (kJ/kg)	3401.36	3401.36
Entropi uap-superheated water ; $S_1$ (kJ/kg.K)	6.98	6.98
$h_{f2}$ (kJ/kg)	197.54	162.55
$S_{f2}$ (kJ/kg.K)	0.67	5.56
$h_{fg2}$ (kJ/kg)	2388.77	2408.84
$S_{fg2}$ (kJ/kg.K)	7.46	7.72
$h_{g2}$ (kJ/kg)	2386.32	2571.34
$S_{g2}$ (kJ/kg.K)	8.13	8.28
X (%)--> pers. 7	0.01	0.83
$h_2$ (kJ/kg)--> pers. 8	2219.62	2151.23
P air masuk pompa (kPa)	10.84	7.00
P air keluar pompa (kPa)	60.00	65.00
$V_f$ (m <sup>3</sup> /kg)	0.00	0.00
Kerja pompa (kW)	6.05	6.54
$h_4$ keluar pompa (kJ/kg)	230.20	194.60



Gambar 10. Perbandingan Nilai Efisiensi Termal

Tabel 6. Perbandingan Performa Pembangkit

Parameter	Dimensi bahan bakar batu bara		Selisih
	non-Standar	Batubara	
	ASME	Standar ASME	
<b>SFC</b>			
SFC gross (kg/kWh)	1,25	0,98	0,26
SFC netto (kg/kWh)	1,42	1,13	0,29
<b>Heat Rate</b>			
THR (kg/kWh)	14.494,40	14.426,56	67,84
GPHR (kg/kWh)	20.982,95	16.548,71	4.434,24
NPHR (kg/kWh)	23.843,76	18.943,41	4.900,35
<b>Efisiensi Thermal (%)</b>	370,744	387,563	-1,68

## KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa terhadap data operasi pembangkit diketahui bahwa untuk memproduksi daya sebesar 1 kW selama satu jam maka pembangkit yang beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME memiliki selisih nilai SFCgross dan GPHR 26,80% lebih tinggi, SFCnetto dan NPHR 25,87% lebih tinggi, THR 0,47% lebih tinggi, namun nilai efisiensi thermal 4,34 % lebih kecil dibanding saat beroperasi menggunakan ukuran batubara sesuai ASME. Berdasarkan hal tersebut maka untuk memproduksi 1 kWh, pembangkit yang beroperasi menggunakan batubara non-standar ASME menghabiskan energi serta batubara lebih banyak dari pada saat pembangkit beroperasi menggunakan ukuran batubara standar ASME.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan hibah Program Kompetisi Kampus Merdeka (PKKM) dalam bentuk bantuan/insentif penelitian dan publikasi jurnal. Tidak lupa Ucapan terima kasih disampaikan kepada Tim Operasi PLTU Tanjung Balai Karimun yang telah menyediakan data operasi pembangkit yang digunakan pada penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] P. L. Negara, "Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Gas," Jakarta, 1989.
- [2] K. E. Heselton, *Boiler Operator's Handbook*. Georgia: MARCEL DEKKER, INC, 2005.
- [3] A. S. M. Engineer, *Recommended Guidelines for the Care of Power Boiler*. New York: ASME, 2001.
- [4] W. Conshohocken, *Classification Coal by Rank*. New York: ASTM International, 2005.
- [5] C, "CFD Modelling of Particle Size Effect on Stoker Coal Fired Boiler Combustion," *Eastern-European J. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 73–78, 2018.
- [6] H. Li, H. Mou, N. Zhao, D. Chen, Y. Zhou, and R. Dong, "Impact of fuel size on combustion performance and gaseous pollutant emissions from solid fuel in a domestic cross-draft gasifier stove," *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, vol. 12, no. 1, pp. 2–12, 2021.
- [7] G.V., *Steam Generators and Waste Heat Boilers For Process and Plant Engineers*. New York: Taylor & Francis Group, 2015.
- [8] J. W. LEONARD, *COAL PREPARATION*. New York: SOCIETY FOR MINING, METALLURGY, AND EXPLORATION, INC., 1991.
- [9] S. M. I, D. M. K, and A. E, "Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Produksi Listrik," 2018.
- [10] K. S. D, *Mineral*. Jakarta: KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL, 2008.
- [11] A. J. Zulfikar, "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems," *Budapest Int. Res. Exact Sci. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 334–340, 2020.
- [12] M. Y. Yuhazri, A. J. Zulfikar, and A. Ginting, "Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures: A Review," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1003, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012135.
- [13] A. A, "Evaluasi Heat Rate dan Efisiensi Suatu PLTU dengan Menggunakan Batubara yang Berbeda dari Spesifikasi Design," *J. Energi dan Lingkung.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2015.
- [14] ASME, *Steam Turbine Performance Test Codes*. New York: PTC 6-2004, 2004.
- [15] A. J. Zulfikar, M. Y. R. Siahaan, and R. B. Syahputra, "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2021.
- [16] R. Pangestu, "Analisis Perhitungan Heat Rate pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Unit 1 di PT Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar," *J. Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Tangerang*, vol. 2, no. 1, pp. 45–50, 2018.
- [17] A. T. Muzakir, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi," *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2022.
- [18] D. Alamsyah, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, "Optimasi Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Selubung Komposit Laminat Jute Dengan Metode Anova," *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 30–36, 2022.
- [19] N. Hidayat, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, "Analisis Kekuatan Tekan Struktur Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Laminat Hibrid Jute E-glass Epoksi Eksperimental dan ANOVA," *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 37–44, 2022.
- [20] N. KAYANSAYAN, *THERMODYNAMICS Principles & Applications*. Angkara: Egitim Danışmanlık Tic. Ltd., 2002.
- [21] M. Moran, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2006.