

## Analisis Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Pada PLTDG Blok 2 di PT. Indonesia Power UP Bali

I Wayan Utama<sup>1</sup>, Kadek Jodi Mustika<sup>2</sup>, I Wayan Suriana<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Nasional, Indonesia  
E-mail: wayansutama@undiknas.ac.id

DOI: 10.38043/telsinas.v5i2.4112	Received: 2022 September 01	Accepted: 2022 November 01	Publish: 2022 November 25
----------------------------------	-----------------------------	----------------------------	---------------------------

**ABSTRAK:** Dalam Penelitian ini memuat suatu sistem tenaga listrik terdiri atas pembangkitan, penyaluran dan distribusi. Salah satu jenis pembangkit adalah Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG). Semakin meningkatnya kegiatan industry dan jumlah penduduknya, maka kebutuhan daya listrik juga mengalami peningkatan. Hal ini mengakibatkan setiap pembangkit harus efektif dan maksimum supaya tidak menimbulkan kerugian, pembangkit juga harus ramah lingkungan agar tidak menimbulkan pemanasan global. Dimana pengaruh konsumsi spesifik bahan bakar dan persentase beban sangat berpengaruh terhadap efisiensi termal, begitu juga dengan jumlah konsumsi bahan bakar sangat berpengaruh terhadap keekonomian dan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada pembangkit. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui efisiensi dari segi ekonomi, unjuk kerja pembangkit PLTDG dan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Salah satu usaha yang dilakukan adalah dengan pergantian bahan bakar utama pembangkit. Hasil analisis menunjukkan dengan menggunakan bahan bakar LNG efisiensi termal, biaya listrik per kWh dan emisi yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar HSD.

**Kata Kunci:** PLTDG; konsumsi spesifik bahan bakar; efisiensi termal; emisi CO<sub>2</sub>

**ABSTRACT:** This study contains an electric power system consisting of generation, distribution and distribution. One type of power plant is a Gas Diesel Power Plant (PLTDG). As industrial activities and population increase, the demand for electrical power also increases. This results in each generator having to be effective and maximum so as not to cause losses, the generator must also be environmentally friendly so as not to cause global warming. Where the effect of specific fuel consumption and load percentage greatly affects thermal efficiency, as well as the amount of fuel consumption greatly affects the economy and CO<sub>2</sub> emissions generated at the power plant. Therefore, it is important to know the efficiency from an economic point of view, the performance of the PLTDG power plant and the resulting CO<sub>2</sub> emissions. One of the efforts made is by changing the main fuel for the generator. The results of the analysis show that using LNG fuel thermal efficiency, electricity costs per kWh and the resulting emissions are better than using HSD fuel.

**Keyword:** PLTDG, Specific Fuel Consumption, Thermal Efficiency, CO<sub>2</sub> Emission.

### I. PENDAHULUAN

Sejak ditemukannya listrik, manusia memahami bahwa manfaat energi listrik sangat besar bagi kehidupan manusia, [1]. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan energi listrik di Indonesia, antara lain ketersediaan energi primer, harga bahan bakar, teknologi, dan budaya masyarakat. Sedangkan, usaha-usaha yang dapat dilakukan guna mendapatkan biaya operasi yang ekonomis adalah dengan pergantian pemakaian bahan bakar, mengoptimalkan efisiensi dan pemeliharaan pembangkit yang ada [2]

Untuk membangkitkan energi listrik bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama. Emisi gas buang dari pembakaran bahan bakar fosil tersebut memicu terjadinya pencemaran lingkungan dan juga pemanasan global. Saat ini emisi CO<sub>2</sub> global hasil bahan bakar fosil diperkirakan 30-40%. Emisi CO<sub>2</sub> sudah lama terakumulasi di udara dan konsentrasinya terus naik sehingga menyebabkan terjadinya pemanasan global.[4]

Salah satu upaya pemerintah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak yaitu dengan skenario gasifikasi, dengan pertimbangan bahwa gas bumi lebih efektif dan efisien, penggunaan lebih praktis dan emisinya lebih ramah lingkungan jika dibandingkan bahan bakar minyak [3]. PLTDG di PT. Indonesia Power UP Bali menggunakan bahan bakar *Liquefied Natural Gas* (LNG) sebagai bahan bakar

utama. Minimnya ketersediaan *marine fuel oil* (MFO) dan *High Speed Diesel* (HSD) membuat harga bahan bakar MFO dan HSD menjadi lebih mahal dari pada bahan bakar LNG. Kondisi ini dapat mempengaruhi biaya produksi energi listrik. Karena itu perlu dilakukan Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada PLTDG Blok 2 Di PT. Indonesia Power UP Bali ditinjau dari segi biaya produksi dan emisi gas karbon dioksida yang dihasilkan.

## II. LANDASAN TEORI

### Penelitian Yang Pernah Dilakukan

Fajar Sihombing dkk (2016), dalam penelitiannya Studi Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Studi Kasus PT. PLN Pembangkitan Tanjung Jati. Penelitian dilakukan untuk menghitung efisiensi boiler, banyaknya konsumsi bahan bakar, konsumsi spesifik bahan bakar, besar tara kalor dan efisiensi thermal [5].

Benyamin Ignatius Gultom (2018) dalam penelitiannya Mengenai Studi Analisa Konsumsi Gas Alam Pada Gas Turbine Generator Di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan Medan. Penelitian dilakukan untuk menganalisis konsumsi gas alam dan menghitung nilai dari Specific Fuel Consumption (SFC), Heat Rate (HR), efisiensi thermal pada Gas Turbine Generator.[6]

Arief Suranda (2020), dalam penelitiannya mengkaji tentang Efisiensi Bahan Bakar dan Dampak Lingkungan Emisi Gas Buang Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Juga dilakukan perbandingan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG). Dalam Penelitiannya dilakukan perhitungan efisiensi PLTD berbahan bakar solar dan dibandingkan dengan PLTMG yang berbahan bakar LNG dan juga melakukan analisis Emisi gas karbondioksida yang dihasilkan. [3]

Penelitian yang diajukan yaitu untuk melakukan Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada PLTDG Blok 2 Di PT. Indonesia Power UP Bali, dampak emisi gas karbon dioksida yang dihasilkan yang dapat berpengaruh buruk terhadap lingkungan. Perhitungan juga dilakukan untuk mengetahui tara kalor (heat rate), efisiensi termal, biaya produksi energi listrik per kWh dari 2 jenis bahan bakar yang digunakan pada PLTDG Blok 2 PT. Indonesia Power UP Bali.

### Proses Pembangkitan Tenaga Listrik

Pada pembangkit tenaga listrik terjadi konversi energi primer (bahan bakar atau potensi tenaga listrik) menjadi energi mekanik (dihasilkan mesin penggerak generator disebut penggerak utama/*prime mover*) yang selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik oleh generator. [7]

Jenis-Jenis Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang ada dan dioperasikan secara komersial yaitu: [8] PLTA, PLTU, PLTD, PLTG, PLTDG, PLTGU, PLTP, PLTN.

Pembangkit listrik di PT. Indonesia Power UP Bali menggunakan bahan bakar gas sebagai sumber energi primer. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) adalah pembangkit yang penggerak mulanya digerakkan oleh tenaga gas dari hasil pembakaran di ruang bakar. Peralatan utamanya terdiri dari mesin diesel, turbin gas dan generator. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) merupakan pembangkit jenis baru yang dimiliki oleh PT. Indonesia Power UP Bali. Untuk membangkitkan energi listrik, PLTDG memiliki kelebihan karena dapat dioperasikan menggunakan salah satu dari tiga jenis bahan bakar yang berbeda diantaranya HSD, MFO dan Gas (LNG) [9].

Pada PLTDG, bahan bakar dipompa dan dialirkan menuju ruang bakar, bersamaan dengan udara bersih akan dimasukkan ke dalam tangki udara, start melalui saluran masuk kemudian dialirkan ke turbocharger, di dalam turbocharger udara tekanan dan suhu dinaikan dan dialirkan menuju ruang bakar. Di dalam ruang bakar udara bertekanan dan suhu tinggi akan dimanfaatkan di dalam silinder, kemudian suhu didalam silinder dinaikan dan bahan bakar disemprotkan kedalam silinder sampai suhu tinggi melebihi titik nyala bahan bakar, sehingga mesin diesel menyala dan menimbulkan ledakan bahan bakar pada ruang bakar tersebut menggerakkan torak/piston, yang kemudian pada poros engkol diubah menjadi energi putar. Energi putar ini digunakan untuk memutar turbin gas, sehingga turbin gas dapat memutar generator. Apabila generator sudah memiliki excitasi/penguat/fluksi yang cukup, maka generator dapat membangkitkan energi listrik. [10]

### Sistem Bahan Bakar

Bahan bakar dialirkan ke dalam silinder, dipompa dengan tekanan tinggi melalui injektor. Sistem pompa yang digunakan adalah sistem pompa pribadi, dimana mempergunakan satu pompa untuk satu silinder, sehingga untuk satu injektor dilayani oleh satu pompa bahan bakar [11].

PLTDG bisa dioperasikan menggunakan lebih dari 1 jenis bahan bakar yaitu LNG, HSD, atau MFO. Pengoperasian PLTDG saat melayani beban seluruhnya menggunakan bahan bakar LNG (Liquified Natural Gas). Gas alam merupakan gas yang terdiri atas beberapa komponen hidrokarbon ringan [13]. Untuk minyak bakar atau *marine fuel oil* bukan merupakan hasil destilasi (pemisahan fraksi-fraksi minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didihnya) tetapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam [14]. Untuk bahan bakar High Speed Diesel (HSD) merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Minyak mentah dipisahkan fraksi-fraksinya pada proses destilasi sehingga dihasilkan fraksi solar dengan titik didih 250°C sampai 300°C. [15]

Berat jenis bahan bakar atau *specific gravity* memegang peranan yang sangat penting dalam hal nilai kalor, *flash point*, dan sifat pelumasan pada mesin. Semakin tinggi *specific gravity* berarti bahan bakar semakin berat, dan nilai kalor yang dihasilkan tiap volume akan semakin besar pula. *Specific Gravity* yang lebih tinggi juga menunjukkan sifat pelumasan yang lebih baik. [16]

### Efisiensi Termal

Pada perencanaan suatu pembangkit listrik selalu mempertimbangkan faktor efisiensi yaitu perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan dengan konsumsi bahan bakar yang digunakan. Hal ini akan mempengaruhi biaya investasi agar pembangkit yang dibangun ekonomis. Indikator ekonomis suatu pembangkit dapat diketahui berdasarkan konsumsi bahan bakar, harga bahan bakar, *heat rate* dan efisiensi termal. Nilai efisiensi termal diperoleh dengan menghitung persentase pembebanan terlebih dahulu. Persentase pembebanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PP = \frac{\text{Jumlah Beban (MW)}}{P_{\max} \text{ (MW)}} \times 100 \% \quad (1)$$

Untuk mencari jumlah beban (MW) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P \text{ (MW)} = \frac{\text{Jumlah Produksi (kWh)}}{\text{Waktu Produksi 1 Tahun}} \quad (2)$$

Setelah menghitung persentase pembebanan, dapat menghitung *heat rate*. *Heat rate* adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kW dalam waktu 1 jam. *Heat rate* atau jumlah energi dapat dihitung dengan mengetahui LHV (low heat value) terlebih dahulu. LHV adalah nilai panas pembakaran yang dihasilkan suatu bahan bakar dan SFC (*specific fuel consumption*) yaitu perbandingan antara pemakaian total bahan bakar dengan jumlah daya yang dihasilkan. Semakin rendah nilai SFC maka semakin rendah pula konsumsi bahan bakar yang digunakan [17].

Nilai *heat rate* akan berbanding terbalik dengan efisiensi termal, artinya semakin rendah jumlah energi berarti akan semakin baik atau efisien. *Specific Fuel Consumption* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$SFC \text{ (Liter/Kwh)} = \frac{\text{pemakaian bahan bakar}}{\text{produksi kWh}} \quad (3)$$

Besarnya *Heat Rate* dapat dihitung berdasarkan perhitungan SFC di atas yaitu :

$$\text{Heat Rate (Kcal/kWh)} = LHV \times SFC \quad (4)$$

Dimana :

$$LHV \text{ (kcal/liter)} = \text{Nilai kalor} \times SG \quad (5)$$

Sehingga Efisiensi Thermal dapat diketahui dengan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{860}{\text{heat rate}} \times 100\% \quad (6)$$

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa *heat rate* jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya satu kilo- watt dalam waktu satu jam dengan satuan 1 kWh, akan berbanding terbalik dengan efisiensi thermal. Efisiensi thermal merupakan persentase perbandingan antara pembangkitan sebesar 1 kWh dengan *heat rate*. Dikarenakan konversi umum 1 kWh = 860 kcal, sehingga persamaan (6) dapat berlaku.

### Produksi kWh Per Liter

Biaya produksi listrik merupakan salah satu komponen penting dalam proses investasi, dengan biaya produksi yang rendah tentunya akan semakin menguntungkan bagi investor [18]. Keseluruhan biaya produksi listrik per kWh pada pembangkit PLTDG Blok 2 di PT. Indonesia Power UP Bali Tahun 2021 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [19]:

$$\text{Biaya Produksi Energi Listrik per kWh} = \frac{\text{harga bahan bakar}}{\text{produksi kWh per liter}} \quad (7)$$

$$\text{Produksi kWh per liter} = \frac{\text{total produksi kWh}}{\text{total pemakaian bahan bakar}} \quad (8)$$

### Emisi Gas Buang

Emisi gas buang dari pembakaran bahan bakar fosil memicu terjadinya pencemaran lingkungan dan juga pemanasan global. Penghitungan emisi CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan menggunakan salah satu atau kombinasi dari pendekatan berbasis penghitungan dan pendekatan berbasis pengukuran. Perusahaan pembangkit dapat memilih jenis metode tergantung dari ketersediaan data dilapangan. Unit pembangkitan yang memiliki data konsumsi bahan bakar tapi tidak memiliki data kualitas bahan bakar (proximate dan ultimate analysis), dan data analisis pasca pembakaran dapat menghitung total emisi CO<sub>2</sub> per jenis bahan bakar dengan menggunakan rumus penghitungan emisi CO<sub>2</sub> menggunakan persamaan sebagai berikut: [20]

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ (kg/tahun)} = \text{Konsumsi Energi (TJ/tahun)} \times \text{Faktor Emisi (kg/TJ)} \quad (9)$$

Konsumsi Energi merupakan data konsumsi per jenis bahan bakar yang telah dikonversi ke satuan energi. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Data Konsumsi Energi (TJ)} = \text{Konsumsi Energi (fisik)} \times \text{Nilai Kalor (TJ/satuan fisik)} \quad (10)$$

Setelah dapat hasil perhitungan total emisi CO<sub>2</sub>, selanjutnya dapat mencari perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh 1 liter bahan bakar dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2/\text{liter} = \frac{\text{Total Emisi CO}_2 \text{ (kg)}}{\text{Konsumsi Bahan Bakar (liter)}} \quad (11)$$

## III. METODE PENELITIAN

Sumber data adalah hasil pencatatan/rekaman dari operator PLTDG blok 2 PT. Indonesia Power UP Bali. Teknik Pengolahan data diolah dengan menggunakan rumus maupun perhitungan yang berkaitan dengan nilai efisiensi termal dan emisi karbon yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Langkah penelitian dilakukan sesuai prosedur berikut:

1. Pengumpulan data Blok 2 (untuk 2 tahun, tahun 2020 dan 2021) berupa jumlah bahan bakar yang dipergunakan, jenis bahan bakar, energi atau daya yang dibangkitkan.
2. Menghitung persentase pembebanan berdasarkan jenis bahan bakar yang dipergunakan.
3. Menghitung SFC (*Specific Fuel Consumption*) Pada PLTDG Blok 2 Tahun 2020 Dan 2021
4. Menghitung LHV (*Low Heat Value*) Pada PLTDG Blok 2
5. Menghitung *Heat Rate* Pada PLTDG Blok 2 Tahun 2020 Dan 2021
6. Menghitung Nilai Efisiensi Termal Pada PLTDG Blok 2 Tahun 2020 dan 2021
7. Menghitung Biaya Produksi Energi Listrik Per kWh Pada PLTDG Blok 2
8. Menghitung Emisi CO<sub>2</sub> Yang Dihasilkan Dari 2 Jenis Bahan Bakar yang dipergunakan.

#### IV. PEMBAHASAN

##### Data Daya Pembangkitan, Konsumsi Bahan Bakar, Produksi KWh, Nilai Kalor Bahan Bakar

PT. Indonesia Power UP Bali Unit Pesanggaran Blok 2 merupakan pembangkit PLTDG yang terdiri dari 3 buah unit pembangkit. Data daya pembangkitan, konsumsi bahan bakar, produksi KWh, nilai kalor bahan bakar dari PLTDG Pesanggaran Blok 2 disajikan pada tabel 1 sampai dengan tabel 5 berikut.

*Tabel 1. Daya Pembangkitan Energi Listrik Pada PLTDG Pesanggaran Blok 2*

PLTDG	Unit	Daya Terpasang	Daya Mampu
		(MW)	(MW)
Blok 2	Pesanggaran 04	16,64	15,2
	Pesanggaran 05	16,64	15,2
	Pesanggaran 06	16,64	15,2

Total keseluruhan daya yang mampu dibangkitkan sebesar 45,6 MW, secara rinci setiap unitnya mampu membangkitkan daya rata-rata sebesar 15,2 MW.

*Tabel 2. Data Konsumsi Bahan Bakar Tahun 2020 Dan 2021*

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Jenis Bahan Bakar (liter)		Jenis Bahan Bakar (liter)		Jenis Bahan Bakar (liter)	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	26.156.109,362	114.786	19.208.634,177	93.298	19.530.333,109	148.908
2	2021	23.709.701,744	132.691	24.987.633,887	124.039	11.516.692,780	101.974

Pada tabel 2 disajikan data konsumsi bahan bakar pada PLTDG blok 2 dengan menggunakan bahan bakar LNG dan bahan bakar HSD pada tahun 2020 dan 2021.

*Tabel 3. Data Produksi kWh Tahun 2020 Dan 2021*

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Jenis Bahan Bakar (kWh)		Jenis Bahan Bakar (kWh)		Jenis Bahan Bakar (kWh)	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	97.866.477,2	463.326,7	72.707.510,9	374.891,1	75.449.266,2	610.878,7
2	2021	89.115.476,5	527.250,4	93.596.018,6	492.217,3	44.718.445,1	418.626,9

Pada tabel 3 disajikan data produksi kWh pada PLTDG blok 2 dengan menggunakan bahan bakar LNG dan bahan bakar HSD pada tahun 2020 dan 2021.

*Tabel 4. Nilai Kalor Bahan Bakar*

No.	Bahan Bakar	Nilai Kalor	Satuan
1	LNG	8.568,51	kcal/l
2	HSD	9.060,00	kcal/l

Pada tabel 4 disajikan data nilai kalor bahan bakar. Karena dalam perhitungan membutuhkan nilai kalor dengan satuan kcal/liter maka satuan bahan bakar LNG dikonversi dari nilai kalor 252.000,00 kcal/mmBTU menjadi 8.568,51 kcal/liter.

Tabel 5. Berat Jenis Bahan Bakar

No.	Bahan Bakar	Berat Jenis
1	LNG	1,00026
2	HSD	1,0001221

Pada tabel 5 disajikan data berat jenis atau *specific gravity* dari bahan bakar LNG dan HSD.

### Perhitungan Persentase Pembebanan Pada PLTDG Blok 2 Tahun 2020 dan 2021

Persentase pembebanan pada pembangkit PLTDG Blok 2 di PT. Indonesia Power UP Bali dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), hasilnya seperti ditunjukkan pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan Persentase Pembebanan Pada PLTDG Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Persentase Pembebanan		Persentase Pembebanan		Persentase Pembebanan	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	73,50 %	0,35 %	54,60 %	0,28 %	56,66 %	0,46 %
2	2021	66,93 %	0,40 %	70,29 %	0,37 %	33,58 %	0,31 %

Dari tabel 6 terlihat bahwa untuk setiap unitnya nilai persentase pembebanan menggunakan bahan bakar LNG lebih besar dibandingkan dengan HSD.

### Perhitungan SFC (*Specific Fuel Consumption*) Pada PLTDG Blok 2 Tahun 2020 Dan 2021

Nilai SFC (*Specific Fuel Consumption*) dapat dicari dengan persamaan (3), hasil perhitung SFC seperti disajikan pasda tabel 7 berikut:

Tabel 7. Hasil Perhitungan Nilai SFC Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Nilai SFC (liter/kWh)		Nilai SFC (liter/kWh)		Nilai SFC (liter/kWh)	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	0,26726321	0,24774309	0,2641905	0,24886694	0,25885385	0,2437603
2	2021	0,26605593	0,25166599	0,26697325	0,25200045	0,25753786	0,24359156

Hasil perhitungan SFC dengan menggunakan bahan bakar LNG memiliki nilai yang lebih tinggi, sehingga bahan bakar yang dikonsumsi lebih banyak dibandingkan dengan HSD.

### Perhitungan LHV (*Low Heat Value*) Pada PLTDG Blok 2

Nilai LHV (*Low Heat Value*) dihitung dengan menggunakan persamaan (5), hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 8 berikut:

Tabel 8. Hasil Perhitungan Nilai Low Heat Value Bahan Bakar PLTDG Blok 2

No.	Bahan Bakar	Nilai Low Hate Value	Satuan
1	LNG	8.570,73781	kcal/liter
2	HSD	9.061,10623	kcal/liter

### Perhitungan *Heat Rate* Pada PLTDG Blok 2 Tahun 2020 Dan 2021

Berdasarkan perhitungan *SFC* (*Specific Fuel Consumption*) dan *LHV* (*Low Heat Value*) di atas maka *Heat Rate* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4). Semakin kecil nilai *heat rate* dari bahan bakar maka sebuah pembangkit akan semakin efisien. Hasil perhitungan *Heat Rate* disajikan pada tabel 9 berikut:

Tabel 9. Hasil Perhitungan Nilai *Heat Rate* Bahan Bakar Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		<i>Heat Rate</i> (kcal/kWh)		<i>Heat Rate</i> (kcal/kWh)		<i>Heat Rate</i> (kcal/kWh)	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	2.290,6429	2.244,8265	2.264,3075	2.255,0098	2.218,5684	2.208,738
2	2021	2.280,2956	2.280,3723	2.288,1577	2.283,4028	2.207,2895	2.207,209

### Perhitungan Nilai Efisiensi Termal Pada PLTDG Blok 2 Tahun 2020 dan 2021

Berdasarkan perhitungan *heat rate* di atas maka nilai efisiensi termal untuk masing-masing bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6). Hasil perhitungan efisiensi termal dengan menggunakan bahan bakar LNG dan HSD disajikan pada tabel 10 berikut:

Tabel 10. Hasil Perhitungan Efisiensi Termal Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Efisiensi Termal		Efisiensi Termal		Efisiensi Termal	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	37,54 %	38,31 %	37,98 %	38,14 %	38,76 %	38,94 %
2	2021	37,71 %	38,71 %	37,58 %	37,66 %	38,96 %	38,96 %

Sebuah pembangkit dapat beroperasi secara optimal dan efisien tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan, terlihat bahwa terdapat hubungan antara persentase pembebanan dengan nilai efisiensi termal pada bahan bakar, semakin besar persentase pembebanan maka efisiensi termal akan semakin kecil. Untuk efisiensi termal dengan bahan bakar LNG dan HSD memiliki nilai yang hampir sama. Maka bahan bakar LNG lebih efisien dikarenakan dengan persentase beban yang lebih besar tetapi memiliki nilai efisiensi termal yang hampir sama dengan efisiensi termal bahan bakar HSD.

### Biaya Produksi Energi Listrik Per kWh Pada PLTDG Blok 2

Biaya produksi energi listrik per kWh pada pembangkit PLTDG Blok 2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7). Sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu produksi kWh per liter. Untuk produksi kWh per liter dapat dicari dengan menggunakan persamaan (8). Hasil perhitungan produksi kWh per liter disajikan pada tabel 12 berikut:

Tabel 12. Hasil Perhitungan Produksi kWh Per Liter Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Produksi kWh/liter		Produksi kWh/liter		Produksi kWh/liter	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	3,78504267	4,0364394	3,78514736	4,01821142	3,86318379	4,10239066
2	2021	3,75860816	3,97352056	3,74569353	3,96824684	3,8829242	4,1052325

Terlihat bahwa produksi kWh yang dihasilkan oleh 1 liter bahan bakar, PLTDG dengan bahan bakar HSD dapat memproduksi kWh yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar LNG.

### Perhitungan Biaya Produksi Energi Listrik Per kWh Pada Tahun 2020

Setelah didapatkan hasil produksi kWh per liter, maka dapat dihitung biaya produksi listrik/kWh.

Tabel 13. Harga Bahan Bakar

No.	Bahan Bakar	Harga (Rp)	Satuan
1	LNG	7.870,7375	Liter
2	HSD	9.537,29	Liter

Adapun hasil produksi kWh per liter disajikan pada tabel 12, sedangkan harga bahan bakar disajikan pada tabel 13. Dari kedua hasil perhitungan tersebut dapat dihitung biaya produksi energi listrik per kWhnya. Hasil perhitungan biaya produksi energi listrik disajikan pada tabel 14 berikut:

Tabel 14. Hasil Perhitungan Biaya Produksi Listrik per kWh Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Produksi kWh/liter (Rp)		Produksi kWh/liter (Rp)		Produksi kWh/liter (Rp)	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	2.079,431	2.362,797	2.079,374	2.373,516	2.037,371	2.324,812
2	2021	2.094,056	2.400,211	2.101,276	2.403,401	2.027,012	2.323,203

### Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> Yang Dihasilkan Dari 2 Jenis Bahan Bakar

Perhitungan emisi CO<sub>2</sub> pada PLTDG blok 2 di PT. Indonesia Power UP Bali dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (9). Dari data konsumsi energi dari 2 jenis bahan bakar yang di gunakan dan data konsumsi energi dikonversi dengan menggunakan persamaan (10), hasil perhitungan konsumsi energi selengkapnya disajikan pada tabel 15 berikut:

Tabel 15. Hasil Perhitungan Data Konsumsi Energi Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Konsumsi Energi (TJ/th)		Konsumsi Energi (TJ/th)		Konsumsi Energi (TJ/th)	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD
1	2020	927,4586	4,3538	689,0137	3,5387	700,553	5,648
2	2021	850,5769	5,0329	896,4223	4,7047	413,1571	3,8678

Pada tabel 15 terlihat bahwa data konsumsi energi pada setiap unitnya dengan menggunakan bahan bakar LNG memiliki nilai yang lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar HSD.

Setelah didapatkan hasil perhitungan data konsumsi energi selama 1 tahun, maka dapat dihitung total emisi CO<sub>2</sub> dari 2 jenis bahan bakar yang ada pada PLTDG Blok 2. Hasil perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar LNG dan HSD disajikan pada tabel 16 berikut:

Tabel 16. Hasil Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> Tahun 2020 dan 2021

No.	Tahun	Unit 4		Unit 5		Unit 6	
		Emisi CO <sub>2</sub> (kg/tahun)		Emisi CO <sub>2</sub> (kg/tahun)		Emisi CO <sub>2</sub> (kg/tahun)	
		LNG	HSD	LNG	HSD	LNG	HSD



1	2020	53.115.554,1	323.617,9	59.459.814,5	263.031,5	40.120.670,3	419.815,8
2	2021	48.712.542,4	374.095,4	51.338.105,8	349.700,3	23.661.511,7	287.493,5

Pada tabel 16 terlihat bahwa nilai emisi CO<sub>2</sub> pada PLTDG blok 2 pada tahun 2020 dan 2021 dengan menggunakan bahan bakar LNG sebanyak 276.408.198,924 kg, untuk bahan bakar HSD sebanyak 2.017.754,747 kg dan total emisi dari 2 bahan bakar yang digunakan selama 2 tahun sebanyak 278.426.035,918 kg.

### Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> Per Liter Pada PLTDG Blok 2

Setelah didapatkan hasil emisi CO<sub>2</sub> dari 2 jenis bahan bakar yang ada pada PLTDG Blok 2 maka dapat dihitung nilai emisi CO<sub>2</sub> per liternya dengan menggunakan persamaan (11), h hasil perhitungan selengkapnya seperti disajikan tabel 17 berikut:

Tabel 17. Hasil Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> Per Liter Bahan Bakar

No.	Emisi CO <sub>2</sub> (kg/liter)	
	LNG	HSD
1	2,2146	2,8193

Pada tabel 17 terlihat bahwa nilai emisi CO<sub>2</sub> pada PLTDG blok 2 dengan menggunakan bahan bakar LNG memiliki nilai emisi CO<sub>2</sub> sebanyak 2,2146 kg/liter sedangkan bahan bakar HSD memiliki emisi CO<sub>2</sub> sebanyak 2,8193 kg/liter. Dari hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> bahan bakar LNG lebih rendah dibandingkan dengan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD. Emisi CO<sub>2</sub> dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan. Sehingga bahan bakar LNG lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar HSD.

## V. KESIMPULAN

1. Dari perhitungan *Specific Fuel Consumption*, bahan bakar LNG memiliki nilai *Specific Fuel Consumption* yang lebih tinggi dibandingkan dengan HSD sehingga bahan bakar yang dikonsumsi sangat banyak. Begitu juga dengan nilai SFC dan LHV dari masing-masing bahan bakar yang digunakan sebuah pembangkit dapat berpengaruh terhadap nilai heat rate, semakin kecil nilai SFC dan LHV bahan bakar maka nilai heat rate juga semakin kecil begitu pula sebaliknya.
2. Efisiensi unit PLTDG dalam menghasilkan daya sangat dipengaruhi oleh persentase beban dan bahan bakar yang digunakan. Dari hasil analisa data, dimana semakin besar persentase pembebanan maka nilai efisiensi termal akan semakin menurun. Dapat juga dilihat perbandingan persentase beban bahan bakar LNG dari tahun 2020 sampai 2021 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai persentase beban bahan bakar HSD yang memiliki nilai sangat kecil tetapi memiliki efisiensi termal yang hampir sama. Maka bahan bakar LNG lebih efisien dikarenakan dengan persentase beban yang lebih besar tetapi memiliki nilai efisiensi termal yang hampir sama dengan efisiensi termal bahan bakar HSD.
3. Hasil perhitungan biaya produksi listrik/kWh dengan bahan bakar LNG memiliki harga temurah dibandingkan dengan biaya produksi bahan bakar HSD. Dimana rata-rata biaya produksi dengan menggunakan bahan bakar LNG hanya Rp 2.069,75/kWh sedangkan untuk bahan bakar HSD Rp 2.364,66/kWh.
4. Hasil perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan menggunakan bahan bakar LNG memiliki nilai emisi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah sebanyak 2,2146 kg/liter sedangkan bahan bakar HSD yang memiliki emisi CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi sebanyak 2,8193 kg/liter yang dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan. Sehingga bahan bakar LNG lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar HSD.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 2011. Cahyo Adi Basuki, "ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN MENGGUNAKAN METODE LEAST SQUARE, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro".
- [2] 2007 Suryadi, Dedi, "Estimasi Penghematan Biaya Operasi PLTU dengan Cara Penggantian Bahan Bakar, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Bengkulu, Bengkulu. JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 9."
- [3] 2020 SURANDA, ARIEF, "ANALISA EFISIENSI BAHAN BAKAR DAN DAMPAK LINGKUNGAN EMISI GAS BUANG PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL (PLTD) TERHADAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MESIN GAS (PLTMG), Jurnal Sains Teknologi dan Industri, Vol 15".
- [4] 2009 Syahril, "Emisi Gas Buang dan Pemanasan Global".
- [5] 2016 F.Sihombing, K.Karnoto, and B.Winardi, "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Studi Kasus PT.PLN Pembangkitan Tanjung Jati, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, vol 4."
- [6] 2018 Benyamin Ignatius Gultom, "Analisa Konsumsi Gas Alam Pada Gas Turbine Generator Di PT.PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan Medan."
- [7] 2013 Suwadnyana Ary, "Studi Peremajaan Unit-unit Pembangkit PLTD Pesanggaran, Universitas Udayana, Bali."
- [8] 2011. M.Suyitno, "Pembangkit Energi Listrik, Rineka Cipta, Jakarta."
- [9] 2017 Sanjaya. S, "Kajian Teknis Antara Penggunaan Bahan Bakar HSD dan MFO Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti LNG di PLTDG PT. Indonesia Power UPJP Bali, Universitas Udayana, Bali."
- [10] 2018. Putra, K G Trisna Upadana, "Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas dengan Menggunakan Bahan Bakar LNG dan Minyak Solar di PT Indonesia Power Unit Pembangkitan Bali. jurnal METTEK, Volume 4."
- [11] 2011 Rabiman dan Arifin Zainal, "Sistem Bahan Bakar Motor Diesel, Graha Ilmu, Yogyakarta."
- [12] 2017 Rakhmat Setiawan, "LNG Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Solar Atau Diesel."
- [13] 2014 Dzulfadlib, "Konversi Bahan Bakar Minyak Ke Gas Bumi Adalah Solusi Terbaik."
- [14] 2019 Huwaida Salsabila, GR Hasna, "Proses Treatment Marine Fuel Oil (MFO) Sebagai Bahan Bakar Pada Mesin Diesel, Universitas Negeri Semarang, Semarang."
- [15] 2017 Adi Nugroho, Prasetyo, "Analisis Pemakaian Bahan Bakar High Speed Diesel Dan Biodiesel (B30) Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel PLTD 1.4 MW, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Bandung."
- [16] 2015 Muhammad Wanda Saputra, "Penentuan Specific Gravity (SG) Dan API Gravity."
- [17] T. 2010. Wibowo, "Kaji Efisiensi Termal Pada Pembangkit Daya Listrik Berskala Mikro. Bandung: Politeknik Negeri Bandung."
- [18] 2007. Anang Wahyudi, "Menghitung Biaya Produksi Listrik."
- [19] 2014. Adikumoro, "PENGARUH PEMBEBANAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS TERHADAP EFISIENSI BIAYA PEMBANGKITAN LISTRIK (Studi Kasus di PT. Indonesia Power UBP Bali Unit Pesanggaran)".
- [20] 2013 Budi, Rizki Firmansyah Setya, "PERHITUNGAN FAKTOR EMISI CO2 PLTU BATUBARA DAN PLTN. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 15"