

Kajian Teknis Antara Penggunaan Bahan Bakar HSD Dan MFO Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti LNG Di PLTDG PT. Indonesia Power UPJP Bali

Sofwat Sanjaya, I Gusti Ketut Sukadana, dan Hendra Wijaksana
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dan Gas PT. Indonesia Power UPJP Bali merupakan salah satu pembangkit yang memiliki kontribusi besar sebagai pemasok daya di sistem kelistrikan Bali. PLTDG dapat beroperasi dengan menggunakan 3 jenis bahan bakar yaitu Marine Fuel Oil (MFO), High Speed Diesel (HSD), dan Gas. PLTDG beroperasi dengan bahan bakar gas sebagai energi primer yang digunakan untuk proses pembangkitan listrik. Untuk meningkatkan ketersediaan energi listrik, diperlukan kajian secara komprehensif mengenai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar gas apabila terjadi gangguan pasokan bahan bakar gas, yaitu dengan menggunakan bahan bakar MFO atau HSD. Kajian teknis dilakukan dengan pengujian operasi pada PLTDG type W18V50DF dengan pembebanan 50%, 75%, 80%, 100% menggunakan bahan bakar baik HSD maupun MFO. Berdasarkan hasil pengujian pada PLTDG Unit 1 menunjukkan bahwa semakin besar pembebanan maka Torsi dan Produksi juga akan semakin besar. Sedangkan Specific Fuel Consumption dan Heat Rate mengalami penurunan pada beban 100%. Hasil pantauan emisi gas buang NO_x, Opasitas, dan CO dari pengujian pada beban 100% baik menggunakan bahan bakar HSD atau MFO masih dibawah ambang batas berdasarkan Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B. Sedangkan SO₂ saat penggunaan MFO lebih besar dari ambang batas.

Kata Kunci : PLTDG, MFO, HSD, Kajian teknis, Emisi Gas Buang

Abstract

Diesel and Gas Power Generation PT. Indonesia Power UPJP Bali is one of the generators that has a major contribution as a power supplier in Bali electricity system. PLTDG can operate by using 3 types of fuel, namely Marine Fuel Oil (MFO), High Speed Diesel (HSD), and Gas. PLTDG operates with gas fuel as primary energy used for power generation. To improve the availability of electrical energy, a comprehensive review of alternative fuel gas substitutes should be required if fuel supply disruption occurs, using MFO or HSD fuel. Technical studies carried out by testing operations on PLTDG type W18V50DF with loading 50%, 75%, 80%, 100% using fuel both HSD and MFO. Based on the results of testing on PLTDG Unit 1 shows that the greater the burden of the Torque and Production will also be greater. While Specific Fuel Consumption and Heat Rate decreased at 100% load. The monitoring results of NO_x, Opacity and CO gas emissions from testing at 100% load using HSD or MFO fuel are still below the threshold based on LH No 21 of 2008 Annex IV B. While SO₂ when the use of MFO is greater than the threshold.

Keywords : PLTDG, MFO, HSD, Technical Evaluation, Exhaust Emissions

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi listrik merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindari dari kehidupan manusia modern, bahkan akan terus meningkat akibat semakin banyaknya populasi penduduk dunia dan munculnya industri baru. Di Indonesia, Pulau Bali merupakan salah satu daerah terpenting di Indonesia yang memberikan kontribusi penting pada devisa negara di sektor Pariwisata. Dari data yang diperoleh dari PT. PLN P3B Bali, diketahui besarnya pasokan energi listrik yang dikonsumsi pada saat beban puncak adalah 834 MW (s.d Mei 2016). Hal ini menimbulkan tantangan kepada produsen listrik untuk bisa lebih kompetitif dan efisien dalam memproduksi energi listrik. PT. Indonesia Power UPJP Bali merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi energi listrik terbesar di pulau Bali. PT. Indonesia Power UPJP Bali memberikan kontribusi pasokan listrik sebesar 44.7% dari Total Daya Sub Sistem Bali 1302 MW. PT. Indonesia Power memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) terbesar di Indonesia berkapasitas 200 MW (WARTSILA 18V50DF) yang memiliki teknologi *Tri-Fuel* atau dapat beroperasi

dengan menggunakan 3 jenis bahan bakar yaitu *High Speed Diesel (HSD)/Light Fuel Oil, Marine Fuel Oil (MFO)/Heavy Fuel Oil, dan Natural Gas* [4]. PLTDG 200 MW yang dimiliki PT. Indonesia Power terdiri dari 12 unit pembangkit dan menggunakan bahan bakar HSD dan MFO sejak mulai beroperasi secara komersil pada tahun 2015. Tuntutan pengoperasian pembangkit listrik yang ramah terhadap lingkungan mengharuskan PT. Indonesia Power mengkonversi energi primer sebagai bahan bakar pembangkit listrik dengan menggunakan *Liquid Natural Gas (LNG)* yang dimulai pada bulan Juni tahun 2016 sebesar 32 BBTUD. Tingginya permintaan pasokan energi listrik ke jaringan Sub Sistem Bali, memaksa PT. Indonesia Power untuk menjaga kehandalan operasi pembangkit listrik baik kehandalan dari segi pasokan energi primer maupun kehandalan mesin pembangkit itu sendiri. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka diperlukan langkah strategis dalam perencanaan persediaan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar LNG apabila sewaktu-waktu terdapat hambatan pasokan yang menyebabkan gangguan operasional PLTDG 200 MW. Perbedaan karakteristik operasional pembangkit

listrik berdasarkan energi primer yang digunakan akan sangat mempengaruhi pengambilan keputusan terhadap langkah strategi perencanaan kehandalan pembangkit. Namun saat ini PT. Indonesia Power UPJP Bali belum memiliki kajian teknis mengenai pemilihan energi alternatif pengganti LNG untuk menjaga kehandalan operasional pembangkit.

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu bagaimana performa yang dihasilkan oleh PLTDG Pesanggaran dengan membandingkan penggunaan bahan bakar HSD dan MFO, dan bagaimana emisi gas buang yang dihasilkan dari PLTDG Pesanggaran dengan membandingkan penggunaan bahan bakar HSD dan MFO?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi PLTDG yang dianalisa adalah PLTDG Pesanggaran (Type 18V50DF) yang diproduksi oleh WARTSILA FINLAND dengan daya mampu 16.7 MW, bahan bakar yang digunakan yaitu HSD (*High Speed Diesel*) dan MFO (*Marine Fuel Oil*) yang diperoleh dari PT. PERTAMINA, uji Performa PLTDG dilakukan pada pembebanan maksimum 100% atau setara dengan $\pm 16,7$ MW, bahan bakar HSD dan MFO diuji di *Lab. Veritas Petroleum Services (Asia) Pte Ltd (SINGAPORE)*, Analisa dibatasi pada Produksi, SFC (*Specific Fuel Consumption*), Efisiensi Termal, dan Emisi Gas Buang, pengambilan data unjuk kerja (*Performance Test*) dilakukan saat Commisioning menggunakan bahan bakar MFO tahun 2015 dan penggunaan bahan bakar HSD setelah COD (*Commercial Operation Date*).

2. Dasar Teori

Karakteristik unjuk kerja suatu motor bakar dinyatakan dalam beberapa parameter diantaranya adalah konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, perbandingan udara-bahan bakar, daya keluaran. Torsi yang dihasilkan dari sebuah mesin dapat diukur dengan menggunakan torquemeter yang dikopel dengan poros *output* mesin, maka daya yang dihasilkan poros *output* ini sering disebut sebagai daya rem (*brake power*) dan dapat dikalkulasikan dalam bentuk persamaan berikut ini [1] :

$$Pb = \frac{2\pi nT}{60} \quad (1)$$

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu. Bila daya rem dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini [6]:

$$SFC = \frac{\dot{m}f \times 10^3}{Pb} \quad (2)$$

Besarnya laju aliran massa bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan :

$$\dot{m}f = \frac{sgf \times Vf \times 10^{-3}}{tf} \times 3600. \quad (3)$$

Unjuk kerja mesin relatif yang terukur, dapat diperoleh dari pembagian kerja per siklus dengan perpindahan volume silinder per siklus. Parameter ini merupakan gaya per satuan luas dan dinamakan dengan *mean effective pressure* (MEP) [4].

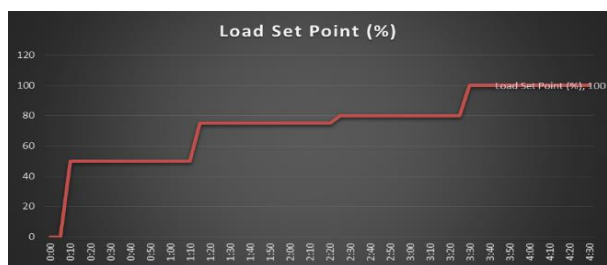
$$P_{me} = \frac{P}{0,655 \cdot D^2 \cdot S \cdot n} \quad (4)$$

Heat Rate pada pembangkit energi listrik adalah jumlah pasokan energi yang diperlukan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh. Nilai *Heat Rate* sangat penting untuk kemudian digunakan sebagai komponen biaya produksi pada suatu pembangkit listrik. Uji *Heat Rate* bertujuan untuk mengidentifikasi terjadinya penurunan kinerja termal pembangkit. Adapun perhitungan *Heat Rate* dibedakan menjadi dua, yaitu *Heat rate Gross* (*Gross Plant Heat Rate-GPHR*) : Yaitu *heat rate* yang dihitung dengan menggunakan *output* daya berupa kWh diukur pada terminal *output* generator pembangkit dan *Heat rate Netto* (*Net Plant Heat Rate-NPHR*) : Yaitu *heat rate* yang dihitung dengan menggunakan *output* daya berupa kWh net diukur setelah pemakaian sendiri (*own used*) pembangkit [5].

3. Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah mesin PLTDG 18V50DF dengan kapasitas daya terpasang 17.100 kW milik PT. Indonesia Power UPJP Bali – Pesanggaran. Adapun bagian dari peralatan mesin PLTDG 18V50DF yang digunakan dalam pengujian ini adalah Mesin Diesel / Gas tipe W18V50DF, Peralatan bantu (*Auxiliary*) PLTDG seperti *Fuel Oil System, Lubricating Oil System, Cooling System, Compressed Air System, Fuel Oil System, Waste Heat Recovery System, CEMS (Continous Emission Monitoring System), Charge Air System, Exhaust Gas System, dan Electrical System (High Voltage, Medium Voltage, Low Voltage, DC System)* [7]

Adapun tahap pengujiannya adalah dengan membebani mesin pembangkit secara bertahap pada beban 50%, 75%, 85%, dan 100% dengan catatan waktu masing-masing selama 1 jam.

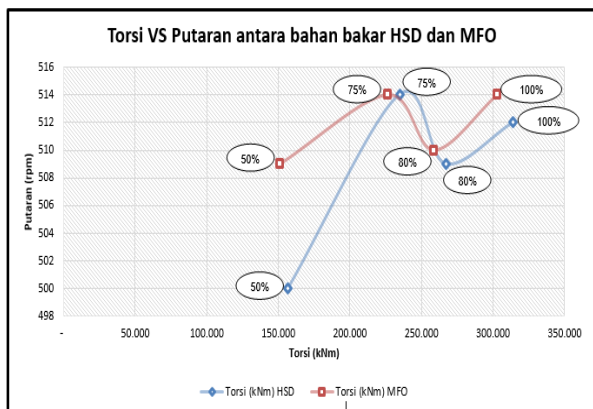


Gambar 1. Kurva Pembebanan mesin PLTDG untuk Performance Test

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perhitungan Torsi pada variasi pembebanan menggunakan bahan bakar MFO dan HSD

Dari hasil perolehan data pengujian menggunakan bahan bakar MFO dan HSD, besaran Torsi dapat dihitung dengan contoh perhitungan sebagai berikut :

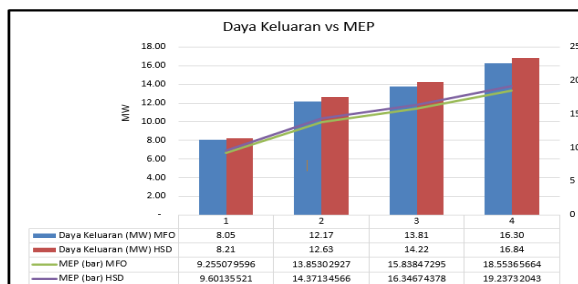


Gambar 2. Grafik perbandingan Torsi VS Putaran antara bahan bakar HSD dan MFO

Berdasarkan grafik perbandingan antara Torsi (kNm) dan putaran mesin (rpm) yang diuji dengan menggunakan bahan bakar berbeda pada variasi pembebanan 50%, 75%, 80%, dan 100%, maka dapat dianalisa dengan pemahaman semakin besar daya yang dihasilkan baik menggunakan bahan bakar HSD maupun MFO, maka Torsi pada mesin pun akan semakin besar. Kemudian secara perhitungan, Torsi yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan Torsi pada beban 100% menggunakan bahan bakar MFO. Hal ini disebabkan oleh daya keluaran generator yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar HSD (16,838,226.50 Watt) lebih besar dibandingkan dengan daya keluaran generator yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar MFO (16,303,259.51 Watt). Daya keluaran yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan MFO disebabkan oleh pembakaran dengan minyak HSD lebih optimal.

4.2. Perhitungan Mean Effective Pressure (MEP)

Perbandingan Mean Effective Pressure untuk masing-masing pengujian pada tiap variasi beban dan putaran dapat dilihat pada gambar grafik berikut :



Gambar 3. Grafik perbandingan Daya Keluaran VS Mean Effective Pressure antara bahan bakar HSD dan MFO

Berdasarkan grafik perbandingan antara Daya Keluaran (MW) dan Mean Effective Pressure/MEP (bar) yang diuji dengan menggunakan bahan bakar berbeda pada variasi pembebanan 50%, 75%, 80%, dan 100%, maka dapat dianalisa dengan pemahaman semakin besar daya yang dihasilkan baik menggunakan bahan bakar HSD maupun MFO, maka MEP pada mesin pun akan semakin besar. Kemudian secara perhitungan, MEP yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan MEP pada beban 100% menggunakan bahan bakar MFO. Hal ini disebabkan oleh daya keluaran generator yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar HSD (16,838,226.50 Watt) lebih besar dibandingkan dengan daya keluaran generator yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar MFO (16,303,259.51 Watt). Daya keluaran yang dihasilkan pada beban 100% menggunakan bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan MFO disebabkan oleh pembakaran dengan minyak HSD lebih optimal.

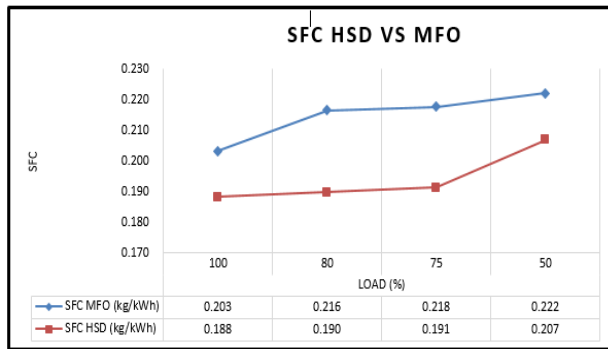
4.3. Perhitungan Spesific Fuel Consumption (SFC)

Dari hasil pengumpulan data operasi PLTDG Pesanggaran PLTDG 18V50DF, diperoleh data sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik perbandingan Produksi Energi Listrik (MFO vs HSD)

Dari perolehan data operasi diatas, maka dapat dihitung dan diperoleh data SFC pada pengoperasian mesin PLTDG 18V50DF Unit 1 sebagai berikut :

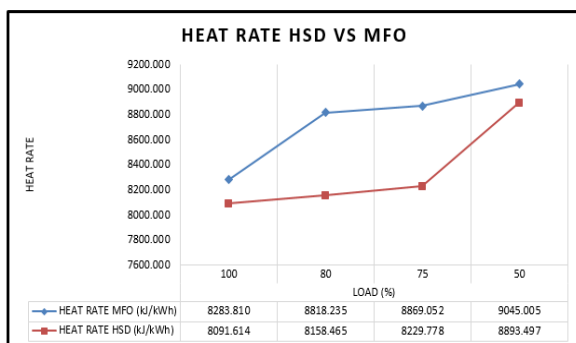


Gambar 5. Grafik perbandingan Specific Fuel Consumption (MFO vs HSD)

Berdasarkan grafik perbandingan *Specific Fuel Consumption* yang diuji pada PLTDG Unit 1 dengan menggunakan bahan bakar berbeda pada variasi pembebanan 50%, 75%, 80%, dan 100%, maka dapat dianalisa dengan pemahaman semakin besar daya yang dihasilkan baik menggunakan bahan bakar HSD maupun MFO, maka berdasarkan perhitungan *Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan pun semakin kecil. Kemudian secara perhitungan, *Specific Fuel Consumption* yang digunakan oleh PLTDG unit 1 menggunakan bahan bakar HSD lebih efisien dibandingkan dengan bahan bakar MFO pada seluruh variasi pembebanan. Selisih perhitungan *Specific Fuel Consumption* antara bahan bakar HSD dan MFO pada beban 100% sebesar 0.015 kg/kWh. Hal tersebut juga dapat dikorelasikan dengan perhitungan Torsi yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya.

4.4. Perhitungan Heat Rate

Dari perolehan data operasi diatas, maka dapat dihitung dan diperoleh data SFC dan *Heat Rate* pada pengoperasian mesin PLTDG 18V50DF Unit 1 sebagai berikut :



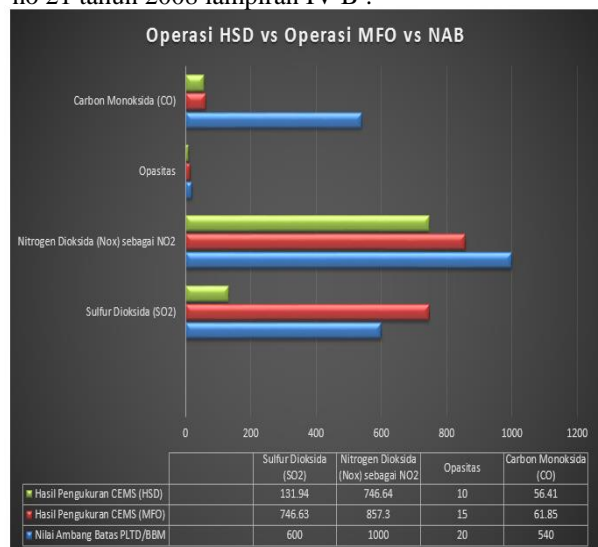
Gambar 6. Grafik perbandingan Heat Rate (MFO vs HSD)

Berdasarkan grafik perbandingan *Heat Rate* yang diuji pada PLTDG Unit 1 dengan menggunakan bahan bakar berbeda pada variasi pembebanan 50%, 75%, 80%, dan 100%, maka dapat dianalisa dengan pemahaman semakin besar daya yang dihasilkan baik menggunakan bahan bakar HSD maupun MFO, maka

berdasarkan perhitungan *Heat Rate* yang dihasilkan pun semakin kecil. Secara perhitungan, *Heat Rate* yang digunakan oleh PLTDG unit 1 menggunakan bahan bakar HSD lebih efisien dibandingkan dengan bahan bakar MFO pada seluruh variasi pembebanan. Selisih perhitungan *Heat Rate* antara bahan bakar HSD dan MFO pada beban 100% sebesar 192.196 kJ/kWh. Hal tersebut juga dapat dikorelasikan dengan perhitungan Torsi dan *Specific Fuel Consumption* yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya.

4.5. Analisa Emisi Gas Buang hasil pengukuran CEMS (Continous Emission Monitoring System)

Selama dilakukan pengujian pada PLTDG Unit 1 baik menggunakan bahan bakar HSD maupun MFO, Emisi gas buang terukur menggunakan peralatan CEMS (*Continous Emission Monitoring System*) yang merupakan salah satu alat bantu PLTDG di Pesanggaran. Berikut merupakan hasil rekapitulasi pembacaan peralatan CEMS yang diambil pada saat waktu pengujian selama 1 jam pada beban 100% menggunakan bahan bakar MFO yang dibandingkan dengan batasan maksimum berdasarkan Permen LH no 21 tahun 2008 lampiran IV B :



Gambar 7. Grafik perbandingan emisi gas buang aktual (HSD) vs MFO vs Nilai Ambang Batas

Berdasarkan hasil pantauan emisi gas buang, maka dapat menjelaskan beberapa hal mengenai emisi gas buang pada PLTDG unit 1 selama pengujian baik dengan menggunakan bahan bakar MFO maupun HSD seperti Sulfur Dioksida (SO₂) yang dihasilkan pada penggunaan bahan bakar HSD lebih baik dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar MFO, dimana SO₂ yang dihasilkan dengan penggunaan bahan bakar HSD masih dibawah Nilai Ambang Batas yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Walaupun pengoperasian dengan menggunakan bahan bakar HSD maupun MFO sama-sama menghasilkan NO₂ yang lebih rendah dibandingkan Nilai Ambang Batas yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup [10], namun pengoperasi PLTDG dengan

bahan bakar HSD lebih baik dibandingkan dengan MFO dengan selisih jumlah 614.69 mg/Nm³. Serupa dengan penjelasan sebelumnya bahwa pengoperasian menggunakan bahan bakar HSD akan menghasilkan nilai opasitas yang lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar MFO dengan selisih sebesar 5%. Pengoperasian menggunakan bahan bakar HSD akan menghasilkan Karbon Monoksida (CO) yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar MFO dengan selisih sebesar 5.44 mg/Nm³.

5. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan pengujian di PLTDG unit 1 PT. Indonesia Power UP Bali – Pesanggaran mengenai “Kajian Teknis Antara Penggunaan Bahan Bakar HSD Dan MFO Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti LNG Di PLTDG PT. Indonesia Power UPJP Bali”, maka dapat diambil kesimpulan berdasarkan analisa dan perhitungan, Produksi energi listrik dari hasil pengujian pada PLTDG unit 1 dengan menggunakan bahan bakar MFO pada beban tertinggi (100%) sebesar 16.303,26 kWh dan beban terendah (50%) sebesar 8.053.41 kWh. Sedangkan dengan pengujian menggunakan bahan bakar HSD pada beban tertinggi (100%) sebesar 16.838,00 kWh dan beban terendah (50%) sebesar 8.206.00 kWh.

Hasil perhitungan Torsi yang dihitung berdasarkan pengujian pada PLTDG unit 1 dengan menggunakan bahan bakar MFO pada beban 100% (16.303,259 kW) sebesar 303.042,07 Nm. Sedangkan dengan pengujian menggunakan bahan bakar HSD pada beban 100% (16.838,22 kW) sebesar 314.208,55 Nm.

Hasil perhitungan *Specific Fuel Consumption* dari pengujian pada PLTDG unit 1 dengan menggunakan bahan bakar MFO pada beban tertinggi (100%) sebesar 0.203 kg/kWh dan beban terendah (50%) sebesar 0.222 kg/kWh. Sedangkan dengan pengujian menggunakan bahan bakar HSD pada beban tertinggi (100%) sebesar 0.188 kg/kWh dan beban terendah (50%) sebesar 0.207 kg/kWh.

Hasil perhitungan *Heat Rate* dari pengujian pada PLTDG unit 1 dengan menggunakan bahan bakar MFO pada beban tertinggi (100%) sebesar 8283.810 kJ/kWh dan beban terendah (50%) sebesar 9045.005 kJ/kWh. Sedangkan dengan pengujian menggunakan bahan bakar HSD pada beban tertinggi (100%) sebesar 8091.614 kJ/kWh dan beban terendah (50%) sebesar 8893.497 kJ/kWh.

Hasil pengambilan data emisi gas buang dari peralatan CEMS (*Continous Emission Monitoring System*) di PLTDG Unit 1 dengan menggunakan bahan bakar MFO pada beban tertinggi (100%) adalah Sulfur Dioksida (SO₂) sebesar 746.63 mg/Nm³ atau lebih besar 146.63 mg/Nm³ dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B. Nitrogen Dioksida (NO_x) sebagai NO₂ sebesar 857.3 mg/Nm³ atau lebih rendah 142.7 mg/Nm³ dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran

IV B. Opasitas sebesar 15% atau lebih rendah 5% dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B. Karbon Monoksida (CO) sebesar 61.85 mg/Nm³ atau lebih rendah 478.15 mg/Nm³ dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B [10].

Hasil pengambilan data emisi gas buang dari peralatan CEMS (*Continous Emission Monitoring System*) di PLTDG Unit 1 dengan menggunakan bahan bakar HSD pada beban tertinggi (100%) adalah Sulfur Dioksida (SO₂) sebesar 131.94 mg/Nm³ atau lebih rendah 468.06 mg/Nm³ dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B [10]. Nitrogen Dioksida (NO_x) sebagai NO₂ sebesar 746.64 mg/Nm³ atau lebih rendah 253.36 mg/Nm³ dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B [10]. Opasitas sebesar 10% atau lebih rendah 10% dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B [10]. Karbon Monoksida (CO) sebesar 56.41 mg/Nm³ atau lebih rendah 483.59 mg/Nm³ dari nilai ambang batas Permen LH No 21 tahun 2008 lampiran IV B [10].

Daftar Pustaka

- [1] Aris Munandar, Wiranto. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak* : Penerbit ITB Bandung, 1988.
- [2] Arismunandar, Wiranto dan Koichi Tsuda, *Motor Diesel Putaran Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1976.
- [3] Rangkuti, Chalilullah, *Panduan Praktikum Bom Kalorimeter, Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin USU*, Medan, 1996.
- [4] Manual Book Instruction, WARTSILA W18V50DF PLTDG Pesanggaran Bali, 2015
- [5] Philip Kristanto. *Motor Bakar Torak* : Penerbit ANDI, 2015
- [6] Sukoco, M.Pd., *Teknologi Motor Diesel* : Penerbit Alfabeta, 2013.
- [7] Operator PT. Indonesia Power UP Bali, *Dokumen IMS Operasi dan Pemeliharaan*, PT. Indonesia Power, 2016.
- [8] Humas PERTAMINA, *Minyak High Speed Diesel*, 2010, <http://www.pertamina.com/index.php/detail/read/minyak-highspeeddiesel>, 12 Januari 2017.
- [9] <http://www.pertamina.com/index.php/detail/read/minyak-marinefueloil>.
- [10] Humas KLH, *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 21 Tahun 2008*, <http://apki.net/wpcontent/uploads/2012/05/Peraturan-Menteri-Negara-Lingkungan-Hidup-Nomor-21-Tahun-2008-Baku-Mutu-Emisi-Sumber-Tidak-Bergerak-Bagi-Usaha-dan-atau-Kegiatan-Pembangkit-Tenaga-Listrik-Termal.pdf>, 10 Desember 2016
- [11] Jekson Turnip, *Pengujian dan Performansi Motor Bakar Diesel Menggunakan Biodiesel Dimethyl Ester B-01 dan B-02*, UNIVERSITAS SUMATERA UTARA, 2009.

Nomenclature:

P_{me}	= <i>Mean Effective Pressure</i> (bar)
D	= Diameter silinder (m)
S	= <i>stroke</i> /panjang langkah TMA-TMB (m)
n	= putaran mesin (rpm)
S_{fc}	= Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (ltr/kWh) atau (Kg/kWh)
\dot{m}_f	= Laju Aliran Bahan Bakar (Ltr/Jam) atau (Kg/Jam)
sgf	= <i>Spesific Gravity</i>
V_f	= Volume Bahan Bakar yang di uji
t_f	= waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume uji
GP_{HR}	= <i>Heat input/kW output (kcal/kWh)</i>
NP_{HR}	= <i>Heat input/Net kW output(kcal/kWh)</i>