

Analisa Kinerja Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) *Dual Fuel* di PT Indonesia Power UP Bali Unit Pesanggaran

J L B Wirawan, I G B Wijaya Kusuma, I W Bandem Adnyana
 Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Mesin Warsila 18V50DF merupakan mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas yang menggunakan dua bahan bakar yaitu solar dan LNG. Namun saat menggunakan mode gas (LNG dan solar sebagai pilot), daya yang dihasilkan tidak sebesar saat mode diesel (diesel sebagai main fuel). Upaya untuk meningkatkan daya yang dibangkitkan pada saat mode gas di mesin PLTDG ini dapat dilakukan dengan mengatur campuran bahan bakar dan udara yang sesuai (AFR). Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan AFR (air fuel ratio) antara gas LNG dengan udara untuk mendapatkan daya yang lebih baik atau setara dengan daya yang dibangkitkan saat mesin dalam mode diesel. Berdasarkan hasil analisa unjuk kerja yang dihasilkan dari beberapa variasi AFR didapatkan daya dan torsi maksimum dihasilkan mesin pada AFR 1,18:1 dengan nilai daya sebesar 15.500 kW, torsi sebesar 296178,3 Nm, SGC sebesar 0,163 kg/kWh, dan efisiensi termalnya sebesar 40,3 %.

Kata Kunci: PLTDG, AFR, SFC, Efisiensi Termal, Daya, Torsi

Abstract

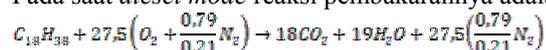
Warsila 18V50DF engine is a Diesel Gas Power Plant that uses two fuels, diesel and LNG. But when using the gas mode (LNG and diesel as a pilot), the power generated is not as great as in diesel mode (diesel as main fuel). The efforts to increase the power generated during gas mode in this PLTDG engine is adjusting between the fuel and the air (AFR) accordingly. This research carried out by varying the AFR (air fuel ratio) between LNG gas and air to get better power or the equivalent power that generated when the engine is in diesel mode. Based on the results of performance analysis from several variations of AFR, the maximum power and torque at AFR 1.18:1 which are power at 15.5 MW, torque at 296.12 Nm, SGC at AFR 0.163 kg / kWh, and thermal efficiency at 40.3%.

Keywords: PLTDG, AFR, SFC, Thermal Efficiency, Power, Torque

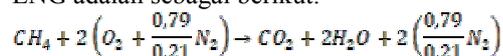
1. Pendahuluan

PT Indonesia Power UP Bali Unit Pesanggaran merupakan unit bisnis pembangkitan tenaga listrik khususnya menyediakan untuk pulau Bali. PLTDG di perusahaan ini merupakan pembangkit yang dapat dioperasikan menggunakan dua metode yaitu *diesel mode* (HSD) dan *gas mode* (HSD dan LNG) dalam menghasilkan daya untuk melayani beban. Namun karena perbedaan karakteristik bahan bakar sehingga pada saat *gas mode* daya yang dihasilkan tidak sebesar *diesel mode*.

Air Fuel Ratio (AFR) sangat penting dalam mempengaruhi jumlah massa bahan bakar yang direaksikan pada saat pembakaran di silinder mesin. Pada saat *diesel mode* reaksi pembakarannya adalah:



Saat *gas mode*. Reaksi pembakaran pada bahan bakar LNG adalah sebagai berikut:



Jumlah massa pada 1 mol $C_{18}H_{38}$ sebesar 254 gram yang mana ini berarti pembakaran mesin terjadi pada saat di-supply bahan bakar diesel sejumlah 254 gram. Kemudian jumlah massa pada 1 mol CH_4 sebesar 16 gram. Dengan karakteristik yang berbeda maka bahan bakar LNG yang di-supply harus sesuai

dengan spesifikasi yang terpenuhi oleh bahan bakar diesel yakni setara dengan 254 gram juga agar menghasilkan *engine performance* yang sama. Dengan menyetarakan jumlah *supply* antara LNG dengan diesel kita bisa mengetahui unjuk kerja yang ditimbulkan, seperti daya output, torsi, SFC, dan efisiensi termal dari mesin.

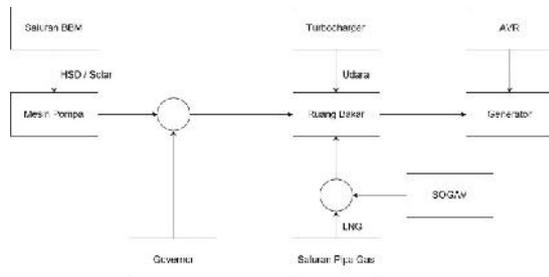
Sehingga dilakukan penelitian terhadap *Air Fuel Ratio* dengan tujuan mengetahui jumlah bahan bakar LNG dan udara yang tepat saat direaksikan pada pembakaran di silinder mesin. Pada penelitian ini udara pembakaran akan menjadi topik kajian.

2. Landasan teori

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) merupakan pembangkit listrik bertenaga mekanis dengan cara prinsip motor pembakaran dalam. Perbedaan PLTDG dengan mesin diesel lainnya adalah pada penggunaan bahan bakarnya. Pada PLTDG dapat menggunakan bahan bakar minyak maupun gas. Ketika menggunakan bahan bakar minyak maka pengaturan jumlah bahan bakar yang masuk menuju ruang bakar menggunakan *governor*, sedangkan saat menggunakan bahan bakar gas atau LNG menggunakan *Solenoid Operated Gas Admission Valve* (SOGAV). Pada saat *gas mode*

mesin ini beroperasi menggunakan dua bahan bakar yaitu diesel dan LNG, dimana pada mode ini LNG masuk bersamaan dengan udara ke ruang bakar. Setelah udara dan LNG dikompresikan bahan bakar diinjeksikan menggunakan *pilot injector* [1].



Gambar 1. Prinsip Kerja PLTDG

2.2. Bahan Bakar

2.2.1 Minyak Solar

Minyak solar merupakan bahan bakar yang disulingan dari minyak mentah, berwarna coklat kuning jernih [2]. Umumnya semua jenis mesin Diesel bekecepatan tinggi (>1000 rpm) menggunakan solar. Minyak solar biasa disebut juga *Automotive Diesel Oil*, *Gas Oil*, dan *High Speed Diesel* [2].

2.2.3 Liquefied Natural Gas (LNG)

Liquefied Natural Gas (LNG) merupakan gas alam yang dikondensasi menjadi cairan pada tekan atmosfer dengan cara didinginkan pada temperatur -160°C. Perbandingan LNG massa dengan gas alam standar 1/640.

Temperatur LNG yang sangat rendah menjadikannya sebagai cairan kriogenik. Secara umum, zat dengan temperatur -100°C (-48°F atau kurang) diklasifikasikan cairan kriogenik dan melibatkan teknologi khusus untuk penanganannya. Temperatur *cryogenic* dari LNG berarti akan membekukan jaringan apa pun (tanaman atau hewan) pada saat kontak dan dapat menyebabkan bahan lain menjadi rapuh dan kehilangan kekuatan atau fungsinya. LNG tidak berbau, tidak berwarna, tidak korosif, mudah terbakar, dan tidak beracun.

2.3. Daya (Break Power)

Break power (bp) merupakan daya yang terukur pada poros output mesin [3]. Torsi yang dihasilkan suatu mesin berbanding lurus dengan daya. Persamaan hubungan antara daya dengan torsi adalah sebagai berikut:

$$bp = \frac{2\pi n}{60} T \quad (1)$$

Dimana:

bp = Daya (Watt)

T = Torsi (N.m)

n = Putaran mesin (rpm)

2.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*, SFC) berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena SFC merupakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi mesin untuk

menghasilkan sejumlah daya pada selang waktu tertentu [3].

Persamaan untuk mendapat SFC adalah sebagai berikut:

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (2)$$

Dimana:

SFC = *Specific Fuel Consumption* (kg/kWh)

(\dot{m}_f) = Laju aliran massa bahan bakar (kg/h)

P_b = Daya motor (kW)

2.5. Efisiensi Termal

Kerja *output* mesin selalu lebih kecil dari pada energi yang dibangkitkan piston karena ada energi-energi yang hilang akibat rugi-rugi mekanis. Persamaan efisiensi termal adalah:

$$\eta_b = \frac{\text{Daya keluar aktual } (P_b)}{\text{Laju panas yang masuk } (Q)} \quad (3)$$

Dimana:

$$Q = \dot{m}_f \cdot HV \quad (4)$$

Dimana HV adalah nilai kalor bahan bakar (kJ/kg).

Sehingga:

$$\eta_b = \frac{P_b}{\dot{m}_f \cdot HV} \quad (5)$$

2.6. Air Fuel Ratio (AFR)

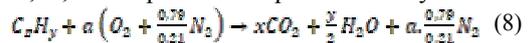
Air Fuel Ratio (AFR) merupakan perbandingan jumlah antara udara dengan bahan bakar.

$$AFR = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{fuel}} = \frac{V_{udara}}{V_{fuel}} \quad (6)$$

AFR yang didapatkan dari reaksi pembakaran sebenarnya di lapangan disebut AFR aktual. Sedangkan AFR yang didapatkan dari persamaan reaksi pembakaran disebut AFR stoikiometri [4]. Dari perbandingan nilai AFR tersebut dapat diketahui nilai Rasio Ekuivalen (ϕ):

$$\phi = \frac{AFR_{stoikiometri}}{AFR_{aktual}} \quad (7)$$

AFR juga dapat diketahui dengan kesetimbangan C, H, dan O pada reaksi pembakarannya:



3. Metode Penelitian

3.1. Deskripsi Penelitian

Penelitian ini menganalisa jumlah supply bahan bakar LNG agar bisa memenuhi spesifikasi saat mesin menggunakan bahan bakar HSD. Pengaturan AFR pada penelitian ini dilakukan dengan cara menetapkan atau mengunci jumlah udara yang masuk dan daya yang diinginkan. Setelah kedua variabel tersebut ditetapkan, maka laju aliran massa bahan bakar akan menyesuaikan sampai tercapainya daya diinginkan. Kemudian didapatkan AFR untuk membangkitkan daya yang maksimum. Akhirnya akan didapatkan grafik hubungan antara AFR dengan parameter yang dianalisa.

Adapun parameter yang diperhatikan saat menganalisa jumlah supply bahan bakar LNG meliputi torsi, daya terbangkitkan, SFC, dan efisiensi termal dari mesin. Oleh karena itu variabel pada penelitian ini, antara lain:

1. Variabel control: Laju aliran massa udara.

- 2. Variabel bebas: Laju aliran massa bahan bakar (LNG)
- 3. Variabel terikat: AFR, torsi, daya, SGC, dan efisiensi termal.

dan untuk pengambilan data dilaksanakan di PLTDG PT Indonesia Power UP Bali Unit Pesanggaran. Waktu penelitian dimulai dari bulan Agustus hingga November 2019.

3.2. Data Penelitian

3.2.1 Data Primer

Data penelitian yang diperoleh dari hasil observasi laporan, seperti daya efektif mesin, nilai kalor bahan bakar, dan spesifikasi mesin pembangkit yang diteliti. Data ini didapatkan dari survei pengambilan data di PLTDG PT Indonesia Power UP Bali Unit Pesanggaran pada tanggal 14 Oktober sampai 15 November 2019.

3.2.2 Data Sekunder

Kumpulan data teoretis yang didapatkan dari referensi pustaka, berupa buku, jurnal/artikel, maupun data laporan dari instansi yang berhubungan dengan materi skripsi.

3.3. Alat dan Bahan

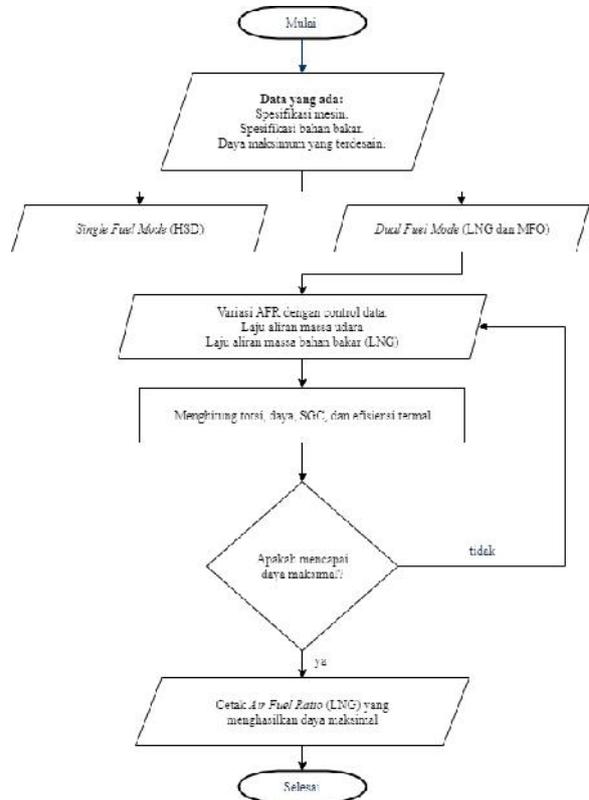
Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini tidak terlalu spesifik karena selain mesin itu sendiri, pada penelitian ini parameter yang ingin diukur sudah bisa dilihat langsung di *Control Room* unit PLTDG.

3.4. Prosedur Pengujian

Hasil analisa lapangan berdasarkan studi pembelajaran dari sumber jurnal/laporan, serta bimbingan dari dosen pembimbing. Prosedur analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data lapangan
 - a. Mencari spesifikasi mesin.
 - b. Menentukan spesifikasi bahan bakar LNG dan MFO.
 - c. Mencari data daya efektif yang dihasilkan mesin pembangkit dengan menggunakan LNG dan MFO.
 - d. Mencari data laju aliran massa bahan bakar dan udara yang dikonsumsi mesin pembangkit per jam dengan menggunakan LNG dan MFO.
 - e. Menghitung torsi yang dapat dibangkitkan oleh PLTDG dengan menggunakan LNG dan MFO.
 - f. Menghitung *Specific Gas Consumption* (SGC) yang dapat dibangkitkan oleh PLTDG dengan menggunakan LNG dan MFO.
 - g. Menghitung efisiensi termal PLTDG dengan menggunakan LNG dan MFO.
2. Menganalisa data untuk mendapatkan *Air Flow Ratio* dari bahan bakar LNG yang menghasilkan performa yang sama ketika menggunakan *single diesel mode*.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan fungsi dari mesin yaitu agar mendapatkan daya maksimum untuk membangkitkan tegangan listrik yang besar, sehingga hasil dari setiap parameter mengacu pada daya maksimal/optimal yang diperoleh.

Tabel 1. Data tuning udara

Daya (kW)	Energy Export (MWh)	CA Temp. (°C)	CA Press. (bar)	CA flow (m/s)	Gas flow (m/s)
15500	287809,5	45,3	2,46	0,8277	0,70
14939	287434	51,3	2,54	0,8127	0,68
14550	287400	50,6	1,94	0,8142	0,54
12160	287419	50,6	2,48	0,8142	0,52
9120	287383	48,7	1,42	0,8195	0,46
6750	287409	50,2	0,98	0,8142	0,42
9067	287389	48,9	1,39	0,8187	0,35
8652	287373	48,3	1,33	0,8202	0,34
6080	287368	50,5	0,35	0,8142	0,31
3550	287362	48,4	0,82	0,8202	0,29

3.5 Tempat dan Waktu Penelitian

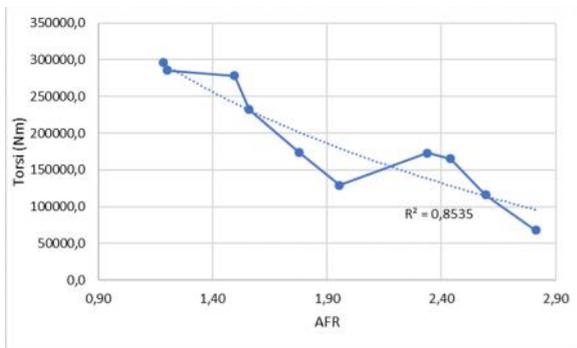
Penelitian ini akan dilaksanakan di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

4.1 Torsi

Tabel 2. Hasil perhitungan torsi di semua kondisi

No.	AFR	Torsi (Nm)
1.	1,18	296,2
2.	1,20	285,5
3.	1,50	278,0
4.	1,56	232,4
5.	1,78	174,3
6.	1,95	129,0
7.	2,34	173,3
8.	2,44	165,3
9.	2,59	116,2
10.	2,81	67,8

Berdasarkan Tabel 2. didapatkan grafik perbandingan torsi dengan AFR pembakaran.



Gambar 3. Grafik perbandingan torsi dengan AFR pembakaran

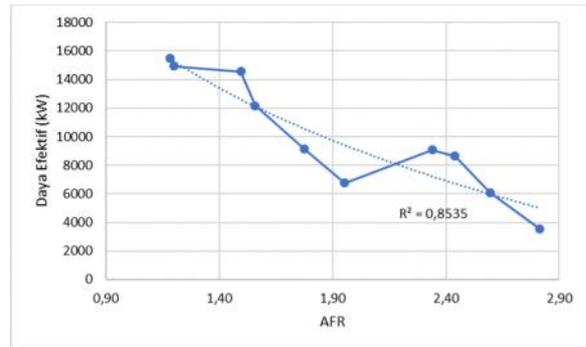
Berdasarkan Gambar 3 didapatkan *trendline* yang mana menyatakan torsi yang dibangkitkan PLTDG Unit Sepuluh saat tuning udara, maka didapatkan hasil dimana semakin banyak jumlah LNG yang dimasukkan ke ruang bakar maka semakin tinggi torsi yang dihasilkan. Torsi maksimum yang didapat sebesar 296178,3 Nm pada AFR 1,18:1

4.2 Daya Efektif

Tabel 3. Daya efektif mesin saat tuning udara

No.	AFR	Daya (kW)
1.	1,18	15500
2.	1,20	14939
3.	1,50	14550
4.	1,56	12160
5.	1,78	9120
6.	1,95	6750
7.	2,34	9067
8.	2,44	8652
9.	2,59	6080
10.	2,81	3550

Berdasarkan Tabel 3. didapatkan grafik perbandingan daya efektif dengan AFR pembakaran.



Gambar 4. Grafik perbandingan daya efektif dengan AFR

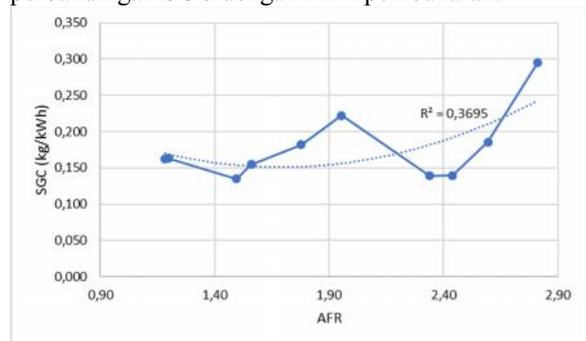
Berdasarkan Gambar 4. didapatkan *trendline* yang mana menyatakan daya efektif yang dibangkitkan PLTDG Unit Sepuluh saat tuning udara, maka didapatkan hasil dimana semakin banyak jumlah LNG yang dimasukkan ke ruang bakar maka semakin tinggi daya yang dihasilkan. Mesin ini bekerja pada putaran konstan yaitu 500 rpm, sehingga berdasarkan persamaannya didapatkan bahwa daya bergantung pada nilai torsi yang dibangkitkan mesin dimana torsi berbanding lurus dengan daya efektif. Daya efektif maksimum yang dihasilkan mesin yaitu pada AFR 1,18:1 sebesar 15.500 kW.

4.3 Specific Gas Consumption (SGC)

Tabel 4. Hasil perhitungan SGC di semua kondisi

No.	AFR	SGC (kg/kWh)
1.	1,18	0,163
2.	1,20	0,163
3.	1,50	0,135
4.	1,56	0,155
5.	1,78	0,182
6.	1,95	0,222
7.	2,34	0,139
8.	2,44	0,140
9.	2,59	0,186
10.	2,81	0,296

Berdasarkan Tabel 4. didapatkan grafik perbandingan SGC dengan AFR pembakaran.



Gambar 5. Grafik perbandingan SGC dengan AFR pembakaran

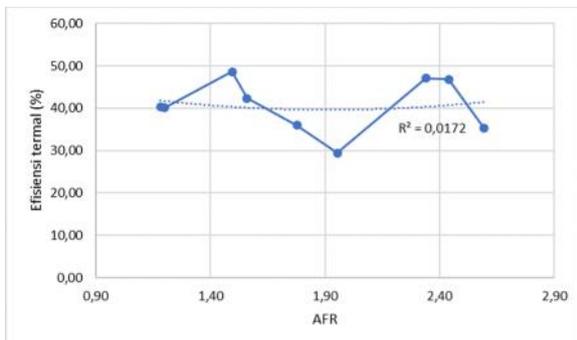
Berdasarkan Gambar 5. didapatkan *trendline* yang mana menyatakan SGC PLTDG Unit Sepuluh saat tuning udara, maka didapatkan hasil dimana semakin banyak jumlah LNG yang dimasukkan ke ruang bakar maka SGC akan menurun sampai titik tertentu kemudian naik kembali sampai daya maksimum (AFR = 1,18). SGC pada AFR 1,18:1 nilainya sebesar 0,163 kg/kWh. Pada kasus ini perlu diperhatikan dimana pada saat gas mode laju aliran massa bahan bakar solar tidak tercatat pada control room ini dikarenakan bahan bakar yang digunakan hanya 1% sebagai pematik di pilot fuel injector.

4.4 Efisiensi Termal

Tabel 5. Hasil perhitungan efisiensi termal di semua kondisi

No.	AFR	η_b (%)
1.	1,18	40,30
2.	1,20	40,12
3.	1,50	48,64
4.	1,56	42,38
5.	1,78	36,00
6.	1,95	29,48
7.	2,34	47,15
8.	2,44	46,85
9.	2,59	35,25
10.	2,81	22,15

Berdasarkan Tabel 10. didapatkan grafik Gambar 6. yang mana merupakan grafik perbandingan efisiensi termal dengan AFR pembakaran.



Gambar 6. Grafik perbandingan efisiensi termal dengan AFR pembakaran

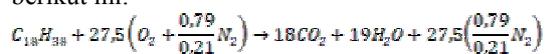
Berdasarkan Gambar 6. didapatkan *trendline* yang mana menyatakan efisiensi termal PLTDG Unit Sepuluh saat tuning udara, maka didapatkan hasil dimana semakin banyak jumlah LNG yang dimasukkan ke ruang bakar maka efisiensi termalnya akan menurun sampai titik tertentu kemudian naik kembali sampai daya maksimum (AFR = 1,18). Efisiensi termal pada AFR 1,18:1 sebesar 40,3%.

4.5 Pengaruh AFR Terhadap Performa Mesin

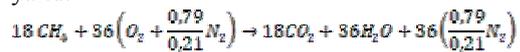
Berdasarkan analisa data didapatkan hasil dimana AFR pada 1,18:1 atau bisa dikatakan 1:1

menghasilkan daya lebih besar dibandingkan AFR 2:1. Daya dan torsi maksimal didapatkan pada AFR 1:1, namun ketika AFR diperkecil menjadi 1:2 terjadi suatu detonasi. Setelah dianalisa berdasarkan teori yang ada, apabila suatu pembakaran dengan bahan bakar lebih banyak dari udaranya maka pembakarannya akan lama atau terlambat. Hal ini dikarenakan banyak bahan bakar yang tersisa dan terbakar jauh setelah TMA (Titik Mati Atas).

Terjadinya detonasi dapat juga disebabkan oleh hasil pembakaran yang tidak bagus. Pada kasus ini mesin yang mulanya menggunakan mode diesel lalu diganti dengan menggunakan mode gas, diinginkan pada saat mode gas menghasilkan energi yang sama dengan mode diesel. Berdasarkan stokiometri pembakarannya saat mode diesel dapat dilihat seperti berikut ini:

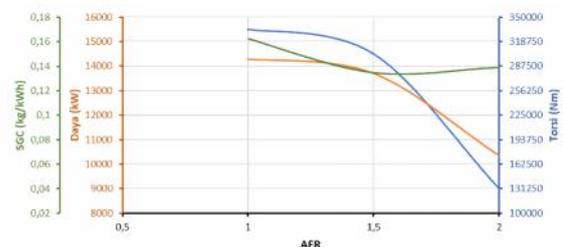


Untuk mendapatkan energi yang sama maka pada saat reaksi pembakaran mode gas kita gunakan jumlah CO₂ yang dihasilkan diesel gas sebagai acuan. Sehingga reaksi pembakaran saat mode gas yaitu:



Berdasarkan reaksi diatas dapat kita lihat untuk mendapatkan jumlah energi output mode gas yang sama dengan mode diesel dihasilkan H₂O yang lebih banyak. H₂O (air) merupakan senyawa pengganggu (*impurity*) pada saat pembakaran dikarenakan air tidak bisa terbakar. Banyaknya senyawa pengganggu inilah juga yang menyebabkan terjadinya detonasi.

Akibat terjadinya detonasi sehingga tercipta tekanan yang sangat tinggi di ruang bakar yang mana kejadian ini dapat merusak mesin. Pada mesin ini sudah dikontrol secara otomatis dimana pada saat tekanan melebihi standarnya maka secara otomatis gas akan dihentikan (*gas trip*) dan operasional pembakarannya diganti menjadi mode diesel.

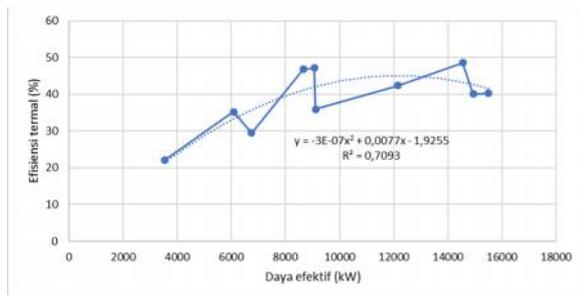


Gambar 7. Pengaruh AFR terhadap Daya Torsi, dan SGC

4.6 Daya Optimum

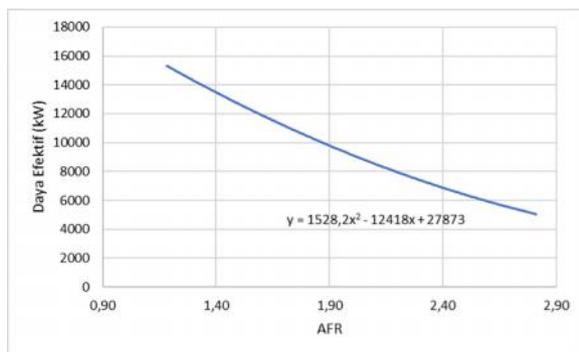
Daya optimum merupakan daya yang didapatkan dalam kondisi terbaik yang mana dilihat juga efisiensi termal yang dihasilkan. Untuk menentukan daya optimum digunakan metode penentuan nilai dan titik optimum pada grafik fungsi kuadrat.

Berdasarkan grafik Gambar 8. didapatkan *trendline* hubungan antara daya efektif dengan efisiensi termal.



Gambar 8. Grafik hubungan antara daya dengan efisiensi termal

Sehingga berdasarkan perhitungan diatas didapatkan titik optimumnya yaitu pada daya 12833,33 kW. Untuk mencari AFR pada daya 12833,33 kW bisa digunakan trendline dari hubungan AFR dengan daya efektif seperti grafik Gambar 9. di bawah ini.



Gambar 9. Hubungan daya dengan AFR

Sehingga daya optimumnya berada pada AFR 1,5.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada Mesin Wartsila Tipe 18V50DF PLTDG Unit 10 PT Indonesia Power UP Bali Unit Pesanggaran, maka penulis dapat menarik kesimpulan daya dan torsi maksimum dihasilkan mesin pada AFR 1,18:1 dengan nilai daya sebesar 15.500 kW, torsi sebesar 296178,3 Nm, SGC sebesar 0,163 kg/kWh, dan efisiensi termalnya sebesar 40,3 %.

Daftar Pustaka

- [1] WÄRTSILÄ, 2013, *Engine W50DF Operation Advanced*. Turku: Wärtsilä Finland Oy,
- [2] Pertamina, 2019, *Fuel Product*, Jakarta,
- [3] V. Ganesan, 2004, *Internal Combustion Engine*, II. United States: Mc Graw Hill.

- [4] Y. Widodo, Lagiyo, A. Wibowo, 2014, *Penentuan Air Fuel Ratio (AFR) Aktual Pembakaran LPG Pada Celah Sempit Tipe Horizontalis*, UPS Tegal, vol. 8, no. 1, hal. 45–51.



Jhony Langgeng Baruna Wirawan menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2019. menyelesaikan studi program sarjana.

Topik penelitian Analisa Kinerja Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas (PLTDG) Dual Fuel di PT Indonesia Power UP Bali Unit Pesanggaran.