

KAJIAN PERFORMANSI MESIN GENSET DIESEL SATU SILINDER DENGAN CAMPURAN BAHAN BAKAR SOLAR DAN BAHAN BAKAR LPG MELALUI *VACUUM REGULATOR*

George Mager¹, Himsar Ambarita², Tulus B. Sitorus³, Dian M. Nasution⁴, Syahril Gultom⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

E-mail : georgemsiregar@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pengaruh penambahan LPG sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel yang dimasukkan pada saluran masuk udara. Mesin diesel yang digunakan adalah Yanmar TF 155 H-Di satu silinder dengan operasi bahan bakar ganda solar-LPG. Pengujian dilakukan pada beban stasioner 400 watt dan 800 watt, serta variasi putaran 900-1400 rpm. Masukan gas LPG dilakukan dengan memanfaatkan kevakuman ruang bakar ketika mesin sedang beroperasi, secara otomatis klep pada *vacuum regulator* akan terbuka sesuai banyaknya kevakuman. Parameter yang diamati adalah Daya, Torsi, Konsumsi Bahan Bakar Spesifik, perbandingan udara-bahan bakar dan efisiensi thermal. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Daya dan Torsi pada diesel bahan bakar ganda ini mengalami presentase kenaikan mencapai 6,62%, konsumsi bahan bakar spesifik mengalami kenaikan antara mencapai 98,8%, rasio udara-bahan bakar mengalami penurunan mencapai 52,51%, dan efisiensi thermal mengalami penurunan mencapai 76,9%. Pada segi nilai rupiah pemakaian bahan bakar ganda solar-LPG mengalami penurunan mencapai 17,97%. Gas LPG dapat menggantikan solar mencapai 60,6% pada laju aliran massa gas 0,4486 kg/jam pada putaran 1000 rpm dengan beban 400 watt tanpa mengalami detonasi dan ketukan.

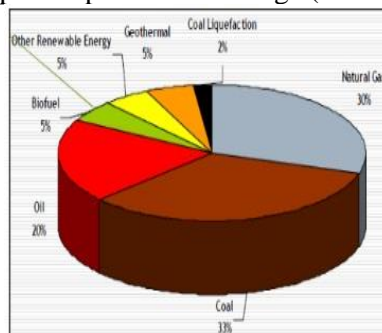
Kata kunci : LPG, diesel bahan bakar ganda, vacuum regulator, performansi mesin diesel.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan di Indonesia berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar minyak (BBM) yang terus berkurang.

Penggunaan mesin diesel banyak terdapat dalam skala besar di dunia perindustrian. Berbagai perusahaan yang menggolongkan transportasi sebagai aspek yang paling penting dalam sektor industri membuat konsumsi bahan bakar minyak dalam sektor ini yakni sangatlah besar. Transportasi dalam muatan besar sebagian besar menggunakan kendaraan dengan mesin diesel. Maka bahan bakar alternatif pada mesin diesel sangatlah berperan penting untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak solar.

Kebijakan Energi Nasional yang terbuang dalam “Skenario Energi Bauran tahun 2025” menempatkan bahan bakar gas (Natural Gas) sebagai prioritas utama setelah batu bara, sedangkan bahan bakar minyak (BBM) ditempatkan pada urutan ketiga (Gambar 1).



Gambar 1 Skenario Energi Mix Nasional 2025

Pemanfaatan Natural gas (CNG) untuk sektor transportasi jangka panjang memerlukan infrastruktur yang handal dan butuh investasi yang mahal, meliputi jaringan pipa gas tekanan tinggi bawah tanah dan Stasiun pengisian bahan bakar gas (SPBG). Sebagai solusi jangka pendek dan

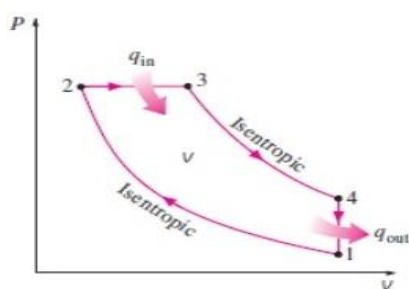
menengah, LPG menjadi pilihan yang paling memungkinkan untuk dikembangkan. Pertama, ketersediaan dalam kemasan tabung sudah merata didaerah. Kedua, harga keekonomian LPG lebih rendah dari solar. Ketiga, sebagai pembelajaran menuju skenario CNG.

2. TINJAUAN PUSTAKA

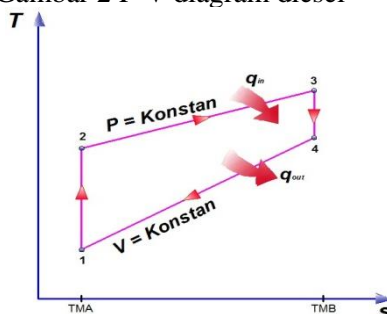
Mesin Diesel merupakan mesin penyalan kompresi dimana udara dikompresi sampai pada temperatur tertentu dalam kondisi adiabatik kemudian bahan bakar dikabutkan beberapa derajat sebelum TMA, karena bahan bakar yang dikabutkan mempunyai titik nyala sendiri yang rendah, maka bahan bakar akan terdorong dengan sendirinya dan akan mendorong piston pada langkah ekspansi. Mesin diesel bekerja berdasarkan pada siklus diesel yang mempunyai perbandingan kompresi antara 14:1 sampai 24:1 sehingga udara yang terkompresi dapat mencapai suhu kurang lebih 450°C (tergantung dari perbandingan kompresi dan merk mesin diesel). Berbeda dengan siklus otto (kompresi 1:9) yang bekerja berdasarkan volume konstan penambahan panas pada mesin diesel bekerja pada tekanan konstan. [1]

Berikut adalah diagram pv (pada gambar 2) dan diagram ts (pada gambar 3) pada siklus diesel (ideal) pembakaran dimana:

- (1-2) Kompresi Isentropik
- (2-3) Pemasukan Kalor pada Tekanan Konstan
- (3-4) Ekspansi Isentropik
- (4-1) Pengeluaran Kalor pada Volume Konstan. [2]



Gambar 2 P-V diagram diesel



Gambar 3 T-s diagram diesel

Bahan Bakar Solar

Bahan bakar diesel yang sering disebut solar (*light oil*) merupakan suatu campuran hidrokarbon yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur 200°C – 340°C . Minyak solar yang sering digunakan adalah hidrokarbon rantai lurus *hetadecene* ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) dan *alpha-methylnaphthalene*.

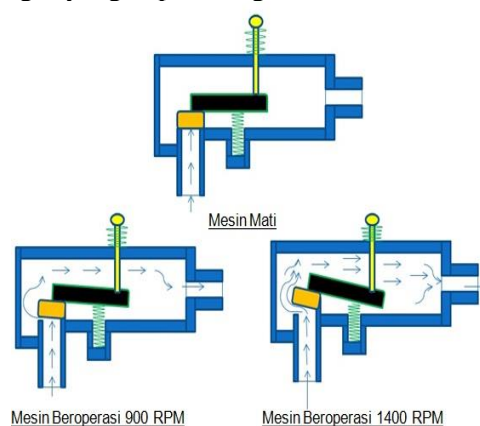
Sifat-sifat bahan bakar diesel yang mempengaruhi prestasi dari motor diesel antara lain: Penguapan (*volatility*), residu karbon, viskositas, belerang, abu dan endapan, titik nyala, titik tuang, sifat korosi, mutu nyala dan *cetane number*. [3]

Bahan Bakar LPG

LPG merupakan salah satu hasil produksi dari destilasi minyak bumi atau proses pemisahan gas alam. Kandungan utama dari LPG adalah Propana dan Butana, komposisi ini berlainan di tiap-tiap negara, di Indonesia LPG mempunyai komposisi Propana 30% dan Butana 70%. LPG mempunyai bentuk gas dalam suhu kamar dan tidak mempunyai warna dan bau, titik didihnya $-6,3^{\circ}\text{C}$ untuk Butana dan $-42,2^{\circ}\text{C}$ untuk Propana. LPG lebih mudah ditransportasikan dan dikemas dalam tabung karena LPG dalam bentuk cair mempunyai tekanan moderat sekitar 8 bar dibandingkan dengan LNG yang mempunyai tekanan dalam tabung sekitar 200 bar sehingga dibutuhkan tabung yang lebih kuat dan tebal untuk gas alam cair. [4]

Vacuum Regulator

Vacuum regulator (yang terdapat pada gambar 4) bekerja dengan memanfaatkan kevakuman ruang bakar yang dapat memicu terbukanya klep didalam vacuum regulator, sehingga gas dapat mengalir masuk kedalam ruang vacuum regulator dan menuju saringan udara pada mesin (intake manifold) . Besar nya kevakuman yang terjadi sebanding dengan besarnya bukaan klep yang menyebabkan besar pula aliran gas yang dapat mengalir.



Gambar 4 Skema vacuum regulator

Dalam pemakaian BBG untuk kendaraan tidak ada perubahan-perubahan pada mesin kendaraan, yang ada hanya penambahan peralatan kit konversi. Bila Prosedur pemasangan dan pemeliharaan alat ini dilaksanakan dengan baik maka penggunaannya akan aman [5]

Diesel bahan bakar ganda atau Diesel Dual Fuel (DDF) adalah mesin standar diesel yang ditambahkan bahan bakar lain pada masukan udaranya dan penyalaan bahan bakar dilakukan oleh semprotan solar yang disebut *pilot fuel*. Secara sederhana bahan bakar cair atau gas dapat dimasukkan dengan membuat lubang pada masukan udara (*intake manifold*) mesin diesel. Tergantung dari jenis bahan bakar yang ditambahkan, apabila jenis liquid/cair yang digunakan seperti ethanol dan methanol maka perlu dibuatkan karburator seperti pada mesin bensin atau dipompa dengan tekanan tertentu dan dikabutkan saat masuk ke saluran udara masuk mesin diesel. [11] Sedangkan untuk bahan bakar gas tidak diperlukan lagi karburator karena bahan bakar gas sudah mempunyai tekanan sendiri. [6]

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh injeksi gas LPG pada mesin diesel ini digunakan beberapa persamaan untuk mengetahui Daya, Torsi, *Specific Fuel Consumption* (SFC), *brake thermal efficiency* (η_b), dan *Air-Fuel Ratio* (AFR).

Daya

Besarnya daya tergantung besar tegangan, kuat arus dan $\cos \varphi$

$$P = V.I. \cos \varphi$$

Dengan:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Perbandingan daya nyata (VA) dengan daya aktif (watt)

Torsi

Besarnya torsi tergantung besar daya efektif dan putaran yang dihasilkan.

$$T = \frac{P_B \cdot 60 \cdot 1000}{2\pi N} \quad [7]$$

Dengan:

T = Torsi (Nm)

P_B = Daya (kW)

N = Putaran mesin (rpm)

2.5 SFC

Besarnya SFC tergantung besar laju aliran bahan bakar dan daya efektif.

$$SFC = \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B}$$

Dengan:

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.jam)

\dot{m}_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

P_B = Daya (kW)

Brake Thermal Efficiency

Besarnya *Brake Thermal Efficiency* tergantung besar daya efektif dan putaran yang dihasilkan.

$$\eta_b = \frac{P_B}{\dot{m}_f \times LHV \times \eta_c} \times 3600$$

Dengan:

η_b = *Brake Thermal Efficiency* (%)

LHV = nilai kalor bahan bakar bawah (kJ/kg)

η_c = efisiensi pembakaran [8]

nb:

LHV_{mix} = LHV_{gases} + LHV_{liquid} [9]

Air-Fuel Ratio

Besarnya *Air-Fuel Ratio* tergantung besar daya efektif dan putaran yang dihasilkan.

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad [10]$$

Dengan:

AFR = *rasio udara bahan bakar*

\dot{m}_a = laju aliran udara didalam mesin(kg/jam)

\dot{m}_f = laju aliran bahan bakar didalam mesin(kg/jam)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah Mesin Genset Diesel Yanmar TF 155 *Horizontal-type Direct injection* yang mempunyai spesifikasi teknis model mesin empat langkah, satu silinder, berpendingin air, diameter dan langkah 102 mm x 105 mm, volume silinder 857 cc, perbandingan kompresi 1:17,8 ,putaran maksimum 2400 rpm, dengan spesifikasi generator Daya maksimum 3 kW dan $\cos \phi = 1$. Untuk mengukur putaran mesin dengan menggunakan RPM Digital dan sensor magnet. Untuk mengukur pengurangan solar dengan buret dan flow meter untuk mengukur laju aliran gas LPG (L/min). Katup solenoid digunakan untuk penyambung dan pemutus aliran solar dan LPG kedalam mesin. Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu. *Vacuum regulator* digunakan

untuk mengatur aliran gas dan regulator tekanan tinggi untuk menurunkan tekanan yang keluar dari tabung LPG. Selang tekanan tinggi untuk mengalirkan gas LPG ke dalam mesin. Power Clamp meter digunakan untuk mengukur tegangan dan kuat arus. Beban lampu digunakan untuk memicu keluarnya tegangan dan kuat arus.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah bahan bakar diesel (solar) dan LPG Pertamina dalam tabung 12 kg.

Prosedur Pengujian Performansi

Prosedur pengujian ini dilakukan dengan 2 variasi beban daya yakni 400 watt dan 800 watt. Dan waktu pengujian dilakukan selama 5 menit.

Prosedur pengujian performansi motor dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Pengujian dengan bahan bakar solar

1. Mengoperasikan mesin dengan cara menyalakan stop kontak agar aliran katup solar selenoid terbuka, memutar tuas *starter* penyalaan mesin, kemudian memanaskan mesin selama 5 menit.
2. Mengisi bahan bakar pada wadah dengan buret hingga mencapai titik yg ditentukan.
3. Memulai pengujian dengan menyalakan 4 lampu pijar sebagai variasi beban 400 watt (pengujian pertama).
4. Menyalakan *stopwatch* dan menghitung waktu pengujian sampai 5 menit.
5. Mengukur putaran mesin dengan menggunakan *RPM Digital*.
6. Mengukur tegangan dan kuat arus menggunakan *Power Clamp Meter*.
7. Mematikan mesin dengan cara mematikan stop kontak agar katup selenoid solar tertutup setelah 5 menit pengujian.
8. Mencatat bahan bakar yang habis selama pengujian dengan cara mengisi kembali bahan bakar dalam wadah hingga titik awal yang ditentukan, lalu lihat pembacaan pada buret.
9. Mengulang pengujian untuk variasi jumlah lampu 800 watt dan putaran yang berbeda.

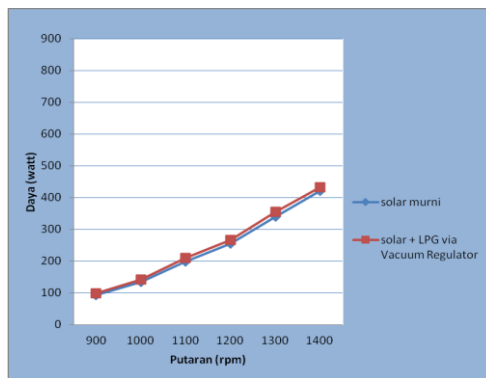
b. Pengujian dengan bahan bakar solar dan LPG melalui *vacuum regulator*

1. Memasukkan selang bertekanan pada intake manifold yang telah dibor dan dipasang kran.
2. Menghubungkan selang ke Flowmeter, *Vacuum regulator*, katup selenoid LPG, Manometer, Regulator Tekanan Tinggi dan ke Tabung LPG.
3. Menyalakan stop kontak agar katup selenoid solar dan LPG terbuka serta membuka kran pada intake manifold.
4. Membuka perlahan Regulator tekanan tinggi hingga manometer mencapai tekanan yang diinginkan.
5. Menyalakan mesin dengan memutar tuas *starter* penyalaan mesin.
6. Mengisi Bahan Bakar solar hingga mencapai titik yang ditentukan.
5. Memulai pengujian dengan menyalakan 4 lampu pijar sebagai variasi beban 400 watt (pengujian pertama).
6. Menyalakan *stopwatch* dan menghitung waktu pengujian sampai 5 menit.
7. Mengukur putaran mesin dengan menggunakan *RPM Digital*.
8. Mengukur tegangan dan kuat arus menggunakan *Power Clamp Meter*.
9. Mencatat besarnya tekanan yang ditunjukkan pada Manometer.
10. Mencatat besarnya aliran gas yang ditunjukkan pada Flowmeter.
11. Mengulang pengujian untuk variasi jumlah lampu 800 watt dan putaran yang berbeda

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

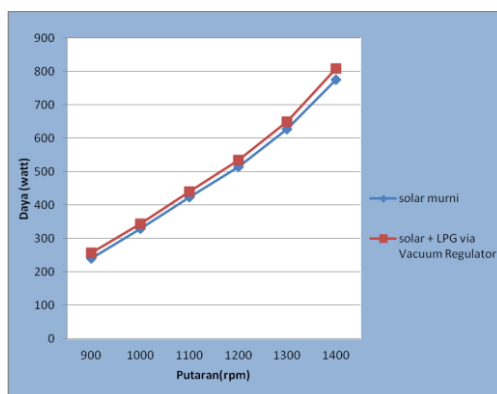
Penelitian ini merupakan penelitian ekperimental murni yang bertujuan mencari pengaruh penambahan LPG melalui *vacuum regulator* pada saluran masuk udara mesin diesel terhadap Daya, Torsi, SFC, Brake Thermal Efficiency, dan AFR.

Daya



Gambar 5 Grafik daya vs putaran untuk beban 400 watt

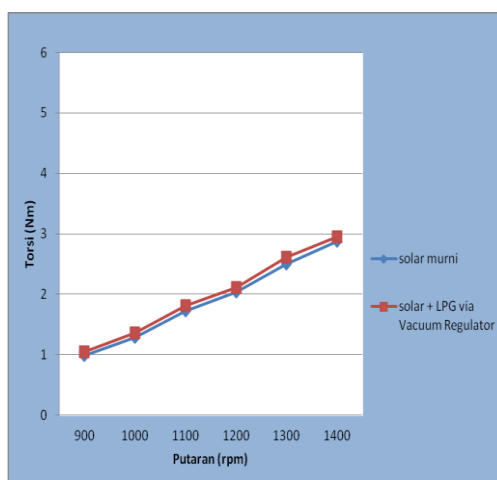
Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan daya pada tiap putaran secara merata meningkat (lihat gambar 5). Persentase tertinggi pada beban 400 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 5,91% dengan daya sebesar 98,7 watt dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 89,6 watt.



Gambar 6 Grafik daya vs putaran untuk beban 800 watt

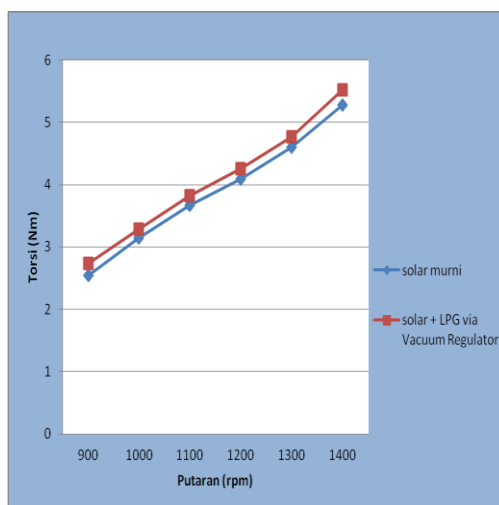
Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan daya pada tiap putaran secara merata meningkat (lihat gambar 6). Persentase tertinggi pada beban 800 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 6,62% dengan daya sebesar 257,298 watt dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 240,24 watt.

Torsi



Gambar 7 Grafik torsi vs putaran untuk beban 400 watt

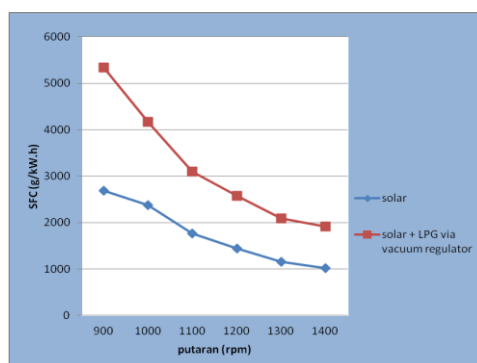
Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan torsi pada tiap putaran secara merata meningkat (lihat gambar 7). Persentase tertinggi pada beban 400 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 5,91% dengan torsi sebesar 1,04 Nm dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 0,98 Nm.



Gambar 8 Grafik torsi vs putaran untuk beban 800 watt

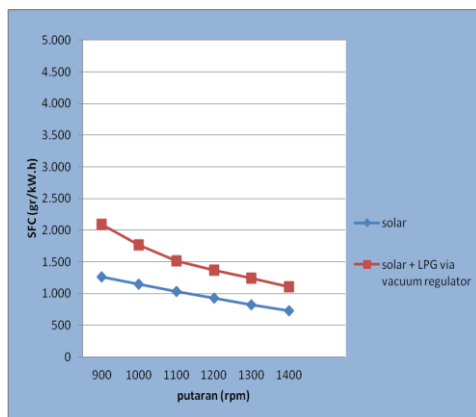
Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan torsi pada tiap putaran secara merata meningkat (lihat gambar 8). Persentase tertinggi pada beban 800 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 6,62% dengan torsi sebesar 2,73 Nm dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 2,55 Nm.

SFC



Gambar 9 Grafik SFC vs putaran untuk beban 400 watt

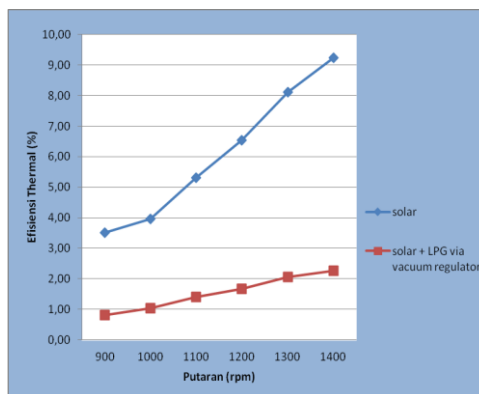
Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan SFC pada tiap putaran secara merata meningkat (lihat gambar 9). Persentase tertinggi pada beban 400 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 98,8% dengan nilai SFC sebesar 5.339 g/kW.jam dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 2.685,34 g/kW.jam.



Gambar 10 Grafik SFC vs putaran untuk beban 800 watt

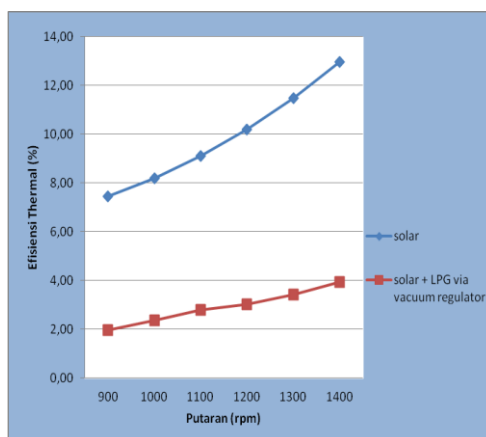
Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan SFC pada tiap putaran secara merata meningkat (lihat gambar 10). Persentase tertinggi pada beban 800 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 65,1% dengan nilai SFC sebesar 2.090 g/kW.jam dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 1.266 g/kW.jam

Brake Thermal Efficiency



Gambar 11 Grafik BTE vs putaran untuk beban 400 watt

Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan nilai Efisiensi Thermal Brake pada tiap putaran secara merata menurun (lihat gambar 11). Persentase penurunan tertinggi pada beban 400 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 76,9% dengan Efisiensi Thermal Brake sebesar 0,81% dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 3,51%.

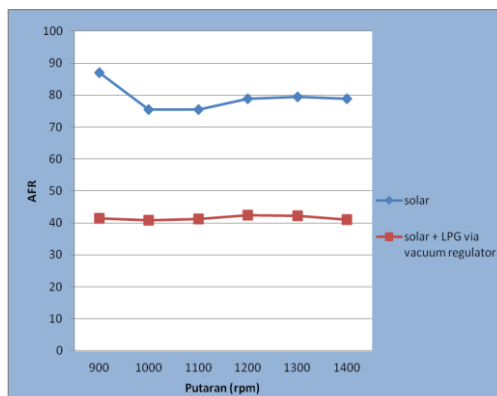


Gambar 12 Grafik BTE vs putaran untuk beban 800 watt

Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan nilai Efisiensi Thermal Brake pada tiap putaran secara merata menurun (lihat gambar 12). Persentase penurunan tertinggi pada

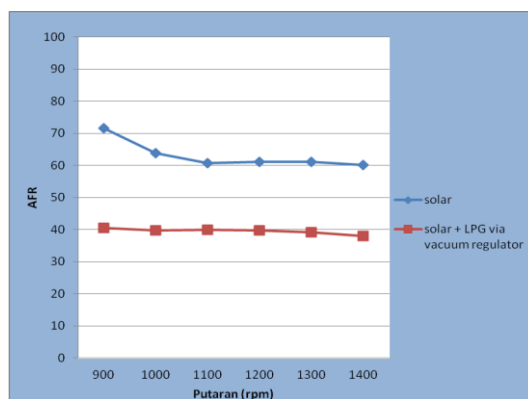
beban 800 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 73,83% dengan Efisiensi Thermal Brake sebesar 1,95% dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 7,45%.

Air-Fuel Ratio



Gambar 13 Grafik AFR vs putaran untuk beban 400 watt

Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan nilai AFR pada tiap putaran secara merata menurun (lihat gambar 13). Persentase penurunan tertinggi pada beban 400 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 52,51% dengan AFR sebesar 165 dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 348.



Gambar 14 Grafik AFR vs putaran untuk beban 800 watt

Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan nilai AFR pada tiap putaran secara merata menurun (lihat gambar 14). Persentase penurunan tertinggi pada beban 800 watt ini terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 46,80% dengan AFR sebesar 152 dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 287.

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan Daya meningkat. Pada beban 400 watt, persentase peningkatan tertinggi 5,91% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 98,7 watt dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 89,6 watt. Pada beban 800 watt, persentase peningkatan tertinggi 6,62% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 257,298 watt dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 240,24 watt.
2. Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan Torsi meningkat. Pada beban 400 watt, persentase peningkatan tertinggi 5,91% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 1,04 Nm dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 0,98 Nm. Pada beban 800 watt, persentase peningkatan tertinggi 6,62% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 2,73 Nm dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 2,55 Nm.

3. Jumlah Nilai Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) yang dihasilkan tergantung nilai putaran mesin, sehingga semakin tinggi putaran mesin maka nilai Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) pun semakin rendah karena semakin banyak siklus yang terjadi pada waktu yang tetap membuat nilai perbandingan konsumsi bahan bakar dengan daya yang dihasilkan oleh mesin semakin rendah. Pada pengujian ini Penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator* menjadikan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) meningkat. Pada beban 400 watt, persentase peningkatan tertinggi 98,8% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 5.339 g/kW.jam dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 2.685,34 g/kW.jam. Pada beban 800 watt, persentase peningkatan tertinggi 65,1% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 2.090 g/kW.jam dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 1.266 g/kW.jam.
4. Jumlah nilai *Efisiensi Thermal Brake* yang dihasilkan tergantung dari nilai putaran mesin, sehingga semakin tinggi putaran mesin maka nilai *Efisiensi Thermal Brake* pun semakin meningkat. Pada pengujian ini terjadi penurunan *Efisiensi Thermal Brake* pada penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator*. Pada beban 400 watt dengan persentase penurunan terbesar 76,9% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 0,81% dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 3,51%. Pada beban 800 watt, persentase penurunan 73,83% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 1,95% dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 7,45%.
5. Jumlah Nilai AFR yang dihasilkan tergantung dari jumlah laju aliran bahan bakar pada mesin sehingga semakin tinggi putaran mesin secara tidak langsung konsumsi bahan bakar semakin banyak, maka nilai AFR pun semakin rendah. Pada pengujian ini terjadi penurunan Rasio udara-bahan bakar pada penggunaan *dual fuel* melalui *vacuum regulator*. Pada beban 400 watt dengan persentase penurunan terbesar 52,51% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 165 dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 348. Pada beban 800 watt, persentase penurunan 46,80% terjadi pada putaran 900 rpm sebesar 152 dibandingkan ketika menggunakan bahan bakar solar murni sebesar 287.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Woodyard, D.F.2004. *Pounder's Marine Diesel Engine and Gas Turbines (8th ed.)*. Elsevier N, Butterworth-Heinemann, Oxford UK
- [2] Y.A A. Cengel, M. A. Boles. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 5th ed.,McGraw-Hill
- [3] Darmanto, Seno dan Ireng Sigit A.2006. *Analisa Biodiesel Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Minyak Diesel*. Traksi, Vol 4. No 2
- [4] Kristyadi, MS. 2002. *Penggunaan Butana Sebagai Bahan Bakar Alternatif Untuk Motor Bensin*. Proceeding Seminar Tahunan Teknik Mesin ITB
- [5] Tulus, B S. 2002. *Tinjauan Pengembangan Bahan Bakar Gas Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Mesin FT. Universitas Sumatera Utara
- [6] Mansour C, Bounif A, Aris A, Gaillard F. 2001. *Gas-Diesel (Dual-Fuel) Modeling in Diesel Engine Environment*. Int. J. Therm, Sci 40, 409-424
- [7] Arismunandar, Wiranto. 1988. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Penerbit : ITB Bandung
- [8] Pulkrabek, Willard W.1997. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall, New Jersey
- [9] Tippayawong N, Promwung kwa A. Rerrkriangkrai P.2011. . *Long Term Operation of a small biogas/diesel dual-fuel engine for on-farm electricity generation*. Thailand: Chiang Mai University
- [10] Heywod, Jhon B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. . McGraw Hill Book Company, New York
- [11] Karim G.A, Amoozegar A. 1983. *Determination of the performance of a dual fuel diesel engine with addition of various liquid fuel to intakes charge*, SAE paper No. 830265