

PENGARUH LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR LPG TERHADAP PERFORMANSI MESIN GENSET DIESEL SATU SILINDER DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN SOLAR DAN LPG (DUAL FUEL)

Adventus Silalahi¹, Himsar Ambarita², Tulus B. Sitorus³, Terang UHSG⁴, Dian M. Nasution⁵
^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
 Jalan Almamater Kampus USU Medan 20155
 E-mail:adventus_aps@yahoo.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dan industri yang semakin pesat berbanding terbalik dengan cadangan sumber bahan bakar fosil yang semakin menipis. Hal ini mendorong dilakukannya penelitian untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar untuk mengurangi ketergantungan akan bahan bakar, khususnya bahan bakar solar. Berdasarkan pemikiran itu, maka dilakukan pengujian mesin diesel Yanmar TF 155 H-Di dengan menggunakan bahan bakar ganda (*dual fuel*) solar + LPG. LPG yang digunakan adalah LPG yang diproduksi Negara, yaitu LPG Pertamina. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui prestasi kerja mesin berbahan bakar solar LPG sehingga akan terlihat pengaruhnya terhadap parameter performansi mesin diesel. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban statis 400 watt dan 800 watt pada putaran mesin 900 rpm sampai 1400 rpm. Pada penelitian ini didapatkan daya mengalami peningkatan. Dengan daya maksimal sebesar 814,8 watt, torsi mengalami peningkatan. Dengan torsi maksimal 5,56 Nm, SFC mengalami peningkatan. Dengan SFC tertinggi 12.370 gr/kWh, efisiensi thermal mengalami penurunan. Dengan efisiensi tertinggi 12,96 %, AFR mengalami penurunan. Dengan AFR tertinggi 348, Opacity mengalami peningkatan. Dengan Opacity tertinggi sebesar 72,3 %, dan nilai ekonomis mengalami peningkatan, yaitu nilai ekonomis tertinggi 27,12 %.

Kata kunci : Mesin Diesel, Dual Fuel, Bahan Bakar solar, LPG, Performansi Mesin Diesel

1. PENDAHULUAN

Konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak) yang mencapai 1,4 juta barel per hari, tidak seimbang dengan produksinya yang nilainya sekitar 650.000 barel per hari, sehingga terdapat defisit yang harus dipenuhi melalui impor. Menurut data ESDM (2013), cadangan minyak Indonesia hanya tersisa 3,7 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam 11 tahun mendatang.

Dewasa ini, program pemerintah untuk melakukan penghematan dan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil terus dilakukan, mengingat persediaan minyak bumi Indonesia yang semakin menipis dan berbanding terbalik dengan permintaan akan bahan bakar fosil yang sangat tinggi seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan. Untuk menghindari kelangkaan bahan bakar fosil dan menjamin ketersediaannya untuk masa depan, maka pemerintah banyak melakukan usaha penghematan bahan bakar fosil dengan melakukan pemanfaatan energi alternatif dan juga melakukan upaya konversi energi dari penggunaan bahan bakar fosil menjadi menggunakan bahan bakar gas (LPG) [1].

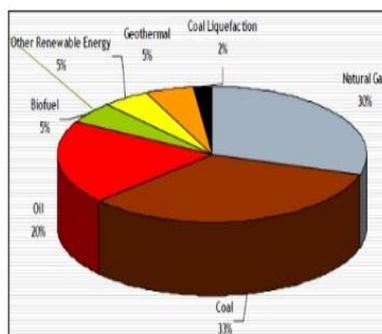
LPG (*liquified petroleum gas*) atau gas minyak bumi yang dicairkan adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Jadi pada dasarnya LPG adalah gas hasil pemisahan dari minyak bumi dengan melakukan proses fraksinasi. Secara garis besar, pada prinsipnya pengolahan LPG dilakukan dengan tahapan :

- Pemisahan Impurites seperti CO₂ dan H₂S (gas beracun, berbau, dan korosif),
- Pengeringan gas dari air (yang terkandung di dalamnya), dan
- Refrigerasi (pendinginan) untuk mendapatkan gas cair yang disebut LPG.

Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi Propana (C₃H₈) dan Butana (C₄H₁₀). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya Etana (C₂H₆) dan Pentana (C₅H₁₂).

Pada kondisi tekanan atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan [6].

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) [5].



Gambar 1 Skenario Energi Mix Nasional 2025

2. TINJAUAN PUSTAKA

LPG

LPG (*liquified petroleum gas*) atau gas minyak bumi yang dicairkan dengan tekanan uap maksimum 6,7 kg/cm² dengan komposisi utamanya adalah C₃-C₄, merupakan campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari [gas alam](#). Jadi, pada dasarnya LPG adalah gas hasil pemisahan dari minyak bumi dengan melakukan proses fraksinasi. Secara garis besar, pengolahan LPG dilakukan dengan tahapan :

- Pemisahan Impurites seperti CO₂ dan H₂S (gas beracun, berbau, dan korosif),
- Pengeringan gas dari air yang terkandung di dalamnya,
- Refrigerasi (pendinginan) untuk mendapatkan gas cair yang disebut LPG.

Jenis dan Komponen LPG

Berdasarkan aturan yang terdapat dalam Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No.25K/36/DDJM/1990, spesifikasi LPG dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu LPG campuran (*mixed LPG*), LPG Propana (*Prophene LPG*), dan LPG Butana (*Buthene LPG*).

LPG yang dipergunakan sebagai bahan bakar kompor gas adalah jenis LPG campuran. LPG ini merupakan salah satu produk yang dipasarkan oleh Pertamina melalui Direktorat Pembekalan Dan Pemasaran Dalam Negeri (Dit. PPDN), dengan merk dagang *LPG (Liquid Petroleum Gas)*. Komponen utama dari LPG adalah Propana (C₃H₈) dan Butana (C₄H₁₀). Di samping itu, LPG juga mengandung senyawa hidrokarbon ringan yang lain dalam jumlah kecil, yaitu Etana (C₂H₆) dan Pentana (C₅H₁₂) [4].

Bahan Bakar Diesel (Solar)

Bahan bakar diesel/ solar (*light oil*) merupakan campuran hidrokarbon yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur 200 °C–340 °C. Minyak solar yang sering digunakan adalah hidrokarbon rantai lurus *hetadecene* (C₁₆H₃₄) dan *alpha-methilnaphthalene* (Darmanto, 2006) [4].

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* (Aris, Munandar, 1988) [7].

Daya Mesin

Daya mesin adalah besarnya kerja mesin selama waktu tertentu. Pada motor bakar daya yang berguna adalah daya poros, dikarenakan poros tersebut menggerakkan beban. Daya poros dibangkitkan oleh daya indikator, yang merupakan daya gas pembakaran yang menggerakkan torak selanjutnya menggerakkan semua mekanisme, sebagian daya indikator dibutuhkan untuk mengatasi gesekan

mekanik, seperti pada torak dan dinding silinder dan gesekan antara poros dan bantalan.. Dengan demikian besar daya poros itu adalah :

$$P_B = \frac{2\pi \cdot (n \cdot T)}{60} \dots\dots\dots [1]$$

Dimana :

P_B = daya (W)

T = torsi (Nm)

n = putaran mesin (Rpm)

Torsi

Besarnya torsi tergantung besar daya efektif dan putaran yang dihasilkan.

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

Dengan:

T = Torsi (Nm)

P_B = Daya (kW)

N = Putaran mesin (rpm)

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)

Efisiensi Thermal Brake.

Kerja berguna yang dihasilkan selalu lebih kecil dari pada energi yang dibangkitkan piston karena sejumlah enegi hilang akibat adanya rugi-rugi mekanis (*mechanical losses*). Dengan alasan ekonomis perlu dicari kerja maksimum yang dapat dihasilkan dari pembakaran sejumlah bahan bakar. Efisiensi ini disebut juga sebagai efisiensi termal brake (*thermal efficiency, η_b*).

Jika daya keluaran P_B dalam satuan KW, laju aliran bahan bakar \dot{m}_f dalam satuan kg/jam, maka:

$$\eta_b = \frac{P_B}{\dot{m}_f \cdot CV} \times 3600 \dots\dots\dots [2]$$

dimana :

η_b :Efisiensi thermal brake

CV :Nilai kalor bahan bakar (kj/kg)

η_c :Efisiensi Pembakaran (0,97)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang Digunakan

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 selenoid digunakan untuk penyambung dan pemutus aliran solar

dan LPG kedalam mesin. Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu. 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.

Tahap Pengujian

Prosedur pengujian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar
2. pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 2,5 L/m
3. Pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 5 L/m
4. Pengujian mesin diesel menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 7,5 L/m

Prosedur Pengujian

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

1. Mengoperasikan mesin dengan cara memutar poros engkol mesin, kemudian memanaskan mesin selama 10-15 menit
2. Mengatur putaran mesin pada 900 rpm menggunakan tuas kecepatan dan memastikan putaran mesin menggunakan tacho meter
3. Mengatur tekanan LPG yang keluar dari Tabung LPG sebesar 0,5 bar
4. Mengatur aliran LPG yang keluar dari Flow Meter pada aliran 2,5 L/m
5. Menentukan konsumsi bahan bakar yang akan diuji.
6. Menyalakan lampu sebagai beban yaitu sebesar 400 watt
7. Mencatat tegangan dan kuat arus menggunakan multi meter
8. Mengukur Bahan Bakar yang habis setelah 5 menit pengujian.
9. Mengulang pengujian menggunakan beban dan variasi putaran yang berbeda

Mengulang pengujian dengan aliran LPG pada aliran Flow Meter yang berbeda yaitu : 5 L/m dan 7,5 L/m.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya

Besarnya daya yang dihasilkan oleh mesin menggunakan bahan bakar solar, solar + LPG aliran 2,5 L/m, solar + LPG aliran 5 L/m, solar + LPG aliran 7,5 L/m pada saat pengujian didapat dari hasil perkalian tegangan yang dihasilkan dengan besar kuat arus yang diukur dengan menggunakan multimeter. Untuk mengetahui besar kuat arus yang mengalir digunakan variasi beban yaitu 400 watt dan 800 watt. Namun dalam perhitungan untuk mendapatkan torsi daya yang digunakan adalah daya hasil perkalian tegangan dan kuat arus yang dihasilkan, bukan daya yang ditetapkan sebagai beban yaitu 400 watt dan 800 watt. Besarnya daya yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar pada tiap kondisi pembebanan dan putaran mesin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

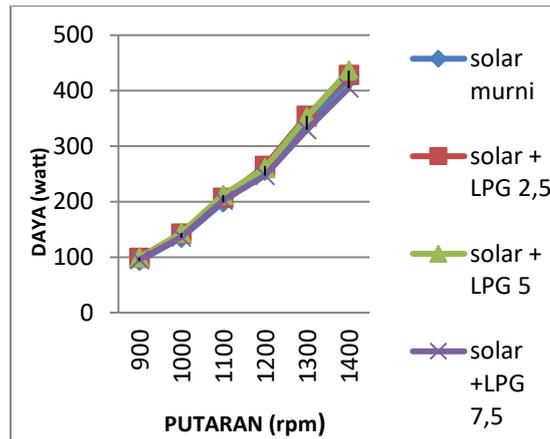
$$P = V \times I \dots\dots\dots [3]$$

Dimana :

- P = Daya (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Kuat arus (Ampere)

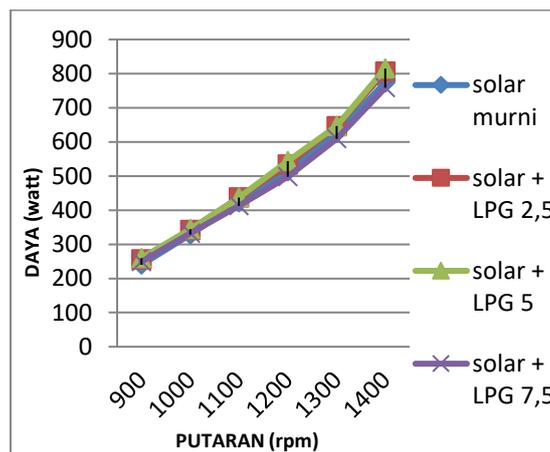
Perhitungan daya akan dibagi menjadi dua yaitu untuk beban 400 Watt dan 800 Watt. Sedangkan variasi putaran yang dipakai yaitu putaran 900 rpm, 1000 rpm, 1100 rpm, 1200 rpm, 1300 rpm, dan 1400 rpm.

Hasil perhitungan daya untuk setiap jenis bahan bakar, variasi putaran mesin dan variasi beban dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 2 Daya vs Putaran untuk beban 400 watt

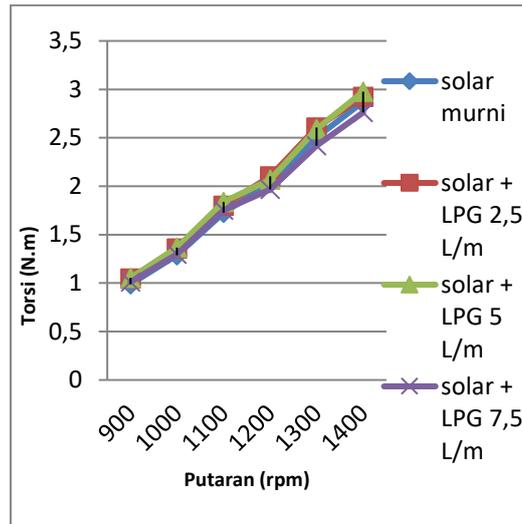
Sesuai dengan gambar 2 grafik untuk daya pada beban 400 Watt diatas, daya terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar murni pada putaran mesin 900 rpm yaitu 93,184 Watt. Sedangkan daya tertinggi terjadi pada pengujian dengan menggunakan campuran bahan bakar Solar + LPG dengan aliran Flow Meter 5 L/m pada putaran mesin 1400 rpm sebesar 436,044 Watt.



Gambar 3 Grafik Daya vs Putaran pada beban 800 Watt

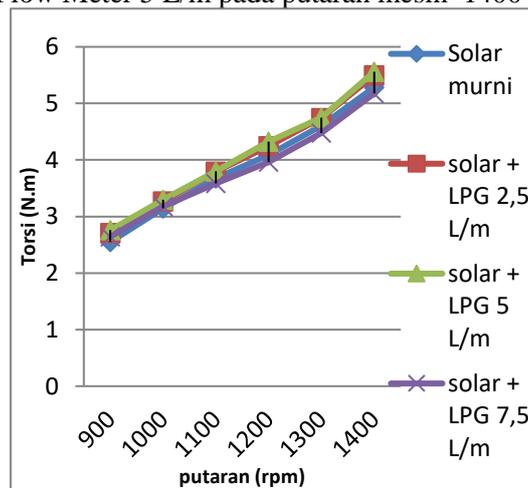
Sesuai gambar 3 dengan grafik untuk daya pada beban 800 Watt diatas, daya terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar murni pada putaran mesin 900 rpm yaitu 240,24 Watt. Sedangkan daya tertinggi terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar + LPG dengan Aliran Flow Meter 5 L/m pada putaran mesin 1400 rpm sebesar 814,8 Watt.

Torsi



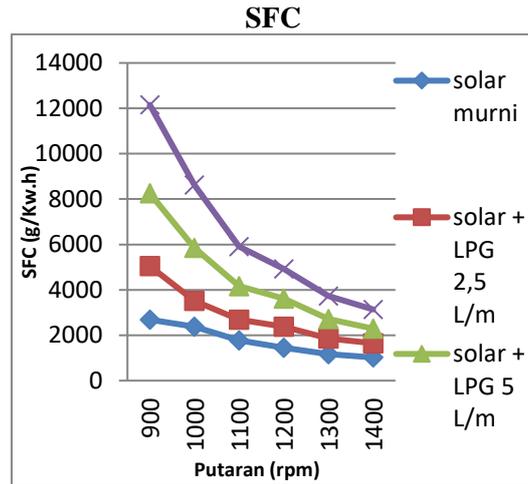
Gambar 4 Grafik Torsi vs Putaran pada beban 400 Watt

Sesuai gambar 4 dengan grafik untuk torsi pada beban 400 Watt diatas, torsi terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar murni pada putaran mesin 900 rpm yaitu 0,98 Nm. Sedangkan torsi tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar + LPG Aliran Flow Meter 5 L/m pada putaran mesin 1400 rpm yaitu sebesar 2,97 Nm.



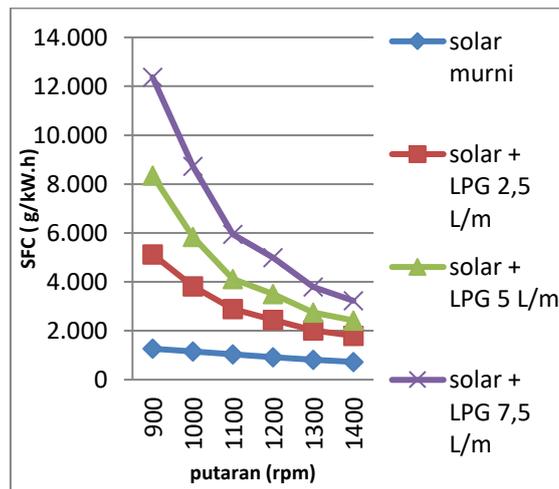
Gambar 5 Grafik Torsi Vs Putaran pada beban 800 Watt

Sesuai dengan gambar 5 grafik untuk torsi pada beban 800 Watt diatas, torsi terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar murni pada putaran mesin 900 rpm yaitu 2,55 Nm. Sedangkan torsi tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar + LPG aliran 5 L/m pada putaran mesin 1400 rpm yaitu sebesar 5,56 Nm.



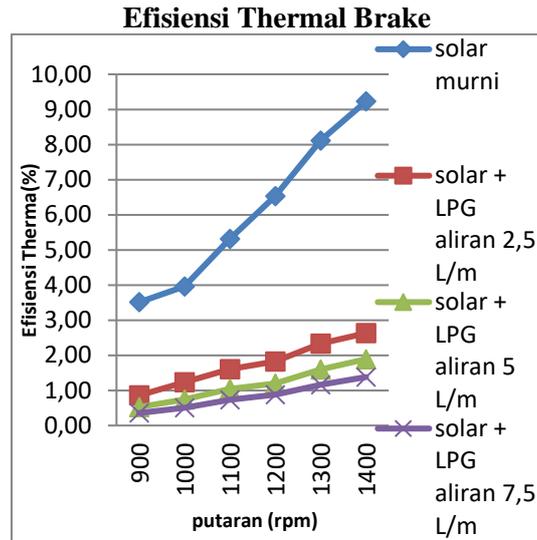
Gambar 6 Grafik SFC vs Putaran pada beban 400 Watt

Sesuai dengan gambar 6 grafik untuk SFC pada beban 400 Watt diatas, Sfc terendah terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar murni pada putaran mesin 1400 rpm yaitu 1021,47 gr/kWh. Sedangkan Sfc tertinggi terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 7,5 pada putaran mesin 900 rpm sebesar 12.153 gr/kWh.



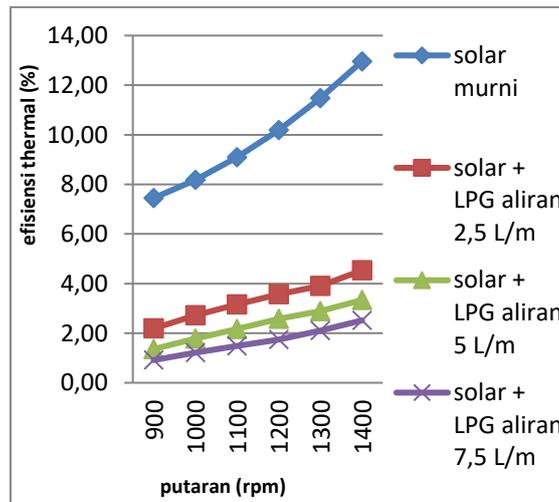
Gambar 7 Grafik SFC vs Putaran pada beban 800 Watt

Sesuai dengan gambar 7 grafik untuk SFC pada beban 800 Watt diatas, Sfc terendah terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar pada putaran mesin 1400 rpm yaitu 727 gr/kWh. Sedangkan Sfc tertinggi terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 7,5 L/m pada putaran mesin 900 rpm sebesar 12.370 gr/kWh.



Gambar 8 Grafik Efisiensi Thermal Brake pada beban 400 Watt

Sesuai dengan gambar 8 grafik untuk Efisiensi Thermal brake pada beban 400 Watt diatas, Efisiensi thermal brake terendah terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 7,5 L/m pada putaran mesin 900 rpm yaitu sebesar 0,36 %. Sedangkan efisiensi termal brake tertinggi terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar murni pada putaran mesin 1400 rpm yaitu sebesar 9,23 %.



Gambar 9 Grafik Efisiensi Thermal Brake beban 800 Watt

Sesuai dengan gambar 9 grafik untuk efisiensi thermal brake pada beban 800 Watt diatas, efisiensi thermal brake terendah terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar LPG aliran 7,5 L/m pada putaran mesin 900 rpm yaitu sebesar 0,91 %. Sedangkan efisiensi termal tertinggi terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar murni pada putaran mesin 1400 rpm yaitu sebesar 12,96 %.

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini yaitu bahwa pengaruh penggunaan bahan bakar ganda (dual fuel) yaitu bahan bakar solar dan LPG terhadap Mesin Yanmar TF 155 H-Di meliputi hal-hal sebagai berikut:

- Untuk pencampuran bahan bakar solar dan LPG, daya yang dihasilkan semakin bertambah pada campuran LPG aliran 2,5 L/m dan 5L/m. Namun untuk pencampuran LPG 7,5 L/m mengalami penurunan daya. Daya yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran mesin dan pembebanan daya, semakin tinggi putaran dan pembebanan yang diberikan maka semakin tinggi pula

daya yang akan dihasilkan. Pada penelitian ini, daya juga dipengaruhi juga oleh besarnya aliran LPG yang dimasukkan kedalam ruang bakar melalui intake manifold. Daya maksimal yang dihasilkan pada pencampuran bahan bakar solar dan LPG adalah pada aliran LPG 5 L/m pada beban 800 watt diperoleh pada putaran 1400 rpm, yaitu sebesar 814,8 Watt sedangkan daya terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar murni pada putaran mesin 900 rpm yaitu 93,184 Watt

- Torsi yang dihasilkan pada penggunaan bahan bakar ganda solar dan LPG mengalami peningkatan dari penggunaan solar murni, solar + LPG aliran 2,5 L/m dan solar + LPG 5 L/m. Tetapi pada campuran solar + LPG aliran 7,5 L/m mengalami penurunan torsi seperti penurunan daya juga yang diakibatkan oleh terlalu banyaknya kandungan LPG didalam ruang bakar dan berkurangnya kandungan udara yang dihisap melalui intake manifold. torsi tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar + LPG aliran 5 L/m pada putaran mesin 1400 rpm yaitu sebesar 5,56 Nm. Sedangkan torsi terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar Solar murni pada putaran mesin 900 rpm yaitu 0,98 Nm.

- Nilai SFC semakin meningkat seiring dengan penambahan aliran LPG kedalam ruang bakar. Besarnya nilai SFC sangat dipengaruhi oleh besar kecil nilai laju aliran bahan bakar. Semakin besar nilai laju aliran bahan bakar LPG yang dialirkan, maka semakin sedikit bahan bakar solar yang terbakar. sehingga konsumsi bahan bakar spesifiknya semakin besar. Sfc tertinggi terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 7,5 L/m pada putaran mesin 900 rpm sebesar 12.370 gr/kWh pada beban 800 watt. Sedangkan Sfc terendah terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar pada putaran mesin 1400 rpm yaitu 727 gr/kWh pada beban 800 watt.

- Terjadi penurunan nilai efisiensi thermal brake dengan menerapkan sistem bahan bakar ganda solar + LPG. Nilai Efisiensi Thermal minimum pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar + LPG aliran 7,5 L/m pada putaran mesin 900 rpm yaitu sebesar 0,30 % dengan beban 400 watt. Nilai Efisiensi Thermal maximum pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar solar murni pada putaran mesin 1400 rpm yaitu sebesar 9,18 % pada beban 800 watt.

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
- [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