

PENGARUH KATALITIK KONVERTER PADA PERFORMANSI MESIN DIESEL STASIONER SATU SILINDER DENGAN SISTEM DUA BAHAN BAKAR (DUAL FUEL SYSTEM) SOLAR-BIOGAS DENGAN NILAI METHANE BIOGAS 60%

EFFECT OF CONVERTER CATALYTIC ON THE PERFORMANCE OF DIESEL ENGINE CYLINDER STATIONARY FUEL SYSTEM WITH TWO (DUAL FUEL SYSTEM) VALUES WITH SOLAR-BIOGAS BIOGAS METHANE 60%

Arie Matius PP Bangun¹; Baringin Manalu²; Bensazar A Lumban Raja³; Gunung A E Sinambela⁴; Himsar Ambarita⁵

Program Studi Sarjana Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155
E-mail: ariematius@yahoo.co.id;

ABSTRAK

Biogas adalah bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel. Pada penelitian ini mesin yang digunakan adalah mesin diesel traktor tangan satu silinder TIGER R175AN yang dimodifikasi untuk dapat beroperasi dengan sistem dua bahan bakar (*dual fuel*). Laju aliran bahan bakar biogas divariasikan yaitu 2, 4, 6 l/min untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performansi mesin tersebut. Performansi yang dihitung adalah daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), efisiensi thermal, dan Rasio perbandingan udara bahan bakar (AFR) yang didapat dari hasil pengujian mesin dengan menggunakan beban statis 600 dan 900 Watt, dan juga putaran mesin yang dinaikkan perlahan dari 1000 hingga 1500 RPM dengan interval 100 rpm. Hasil pengujian performansi yang didapat kemudian dibandingkan dengan mesin diesel yang sama yang menggunakan bahan bakar solar murni, sehingga dapat diketahui pengaruh dari bahan bakar biogas terhadap performansi mesin diesel tersebut. Uji emisi gas buang dilakukan untuk mengetahui kelayakan gas buang dari mesin yang menggunakan bahan bakar solar dan biogas. Perbandingan nilai ekonomis juga dihitung untuk mengetahui efisiensi nilai ekonomis dari perubahan bahan bakar. Dari pengujian didapatkan bahwa daya dan torsi mesin cenderung meningkat untuk beberapa laju aliran aliran biogas, efisiensi thermal meningkat untuk seluruh laju aliran biogas sedangkan AFR dan SFC menurun untuk seluruh laju aliran biogas. Dengan memakai biogas, biaya ekonomis yang dikeluarkan juga menurun dibandingkan dengan bahan bakar solar murni.

Kata Kunci : Bahan Bakar Fosil, Bahan Bakar Solar, Biogas, Katalitik Konverter, Performansi, Mesin Diesel

ABSTRACT

Biogas is an alternative fuel that can be used as fuel in diesel engines. In this study, the machines used are hand tractor diesel engine one cylinder tiger R175 AN modified to operate with two fuel systems (dual fuel). Biogas fuel flow rate varied ie 2, 4, 6 l/min to determine the effect of the performance of the machine. Performance counts is power, torque, specific fuel consumption (SFC), thermal efficiency, and The ratio of air to fuel (AFR) is obtained from the results of the testing machine by using a static load of 600 and 900 Watt, as well as engine speed is increased slowly from 1000 to 1500 rpm with an interval of 100 rpm. Performance testing results obtained are then compared with the same diesel engine that uses pure diesel fuel, so that it can be seen the influence of biogas to the performance of the diesel engine. Exhaust emissions test was conducted to determine the feasibility of exhaust gases from engines using diesel fuel and biogas. Comparison of economic value was also calculated to determine efficiency economic value of the fuel changes. From the test found that the power and torque of the engine is likely to increase for some of the biogas stream flow rate, increased thermal efficiency for the entire biogas flow rate decreases while the AFR and SFC for the entire biogas flow rate. By using biogas, the economic costs incurred also decreased compared with pure diesel fuel.

Keywords: Fossil Fuels, Diesel Fuels, Biogas, Catalytic Converter, Performance, Diesel Engines

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu semakin bertambah pula jumlah populasi Manusia di Bumi, maka dengan demikian kebutuhan energi akan semakin bertambah. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut maka dibutuhkan juga pengembangan Teknologi yang lebih efisien seiring semakin terbatasnya sumber energi yang tersedia di Alam. Peningkatan jumlah penduduk dan

tingginya ketergantungan masyarakat semakin memperparah kondisi tersebut. Pertambahan jumlah penduduk berdampak pada peningkatan kebutuhan sarana transportasi dan aktivitas industri yang mengakibatkan terjadinya peningkatan kebutuhan dan konsumsi bahan bakar minyak.

Permasalahan umum yang dihadapi dunia pada dewasa ini adalah semakin

menipisnya cadangan bahan bakar minyak, disamping dampak negatif yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar minyak tersebut. Fenomena ini mendorong manusia untuk berusaha mencari bahan bakar alternatif yang diharapkan mampu mengatasi kedua permasalahan di atas secara serentak. Salah satu jenis bahan bakar alternatif yang dimungkinkan untuk menggantikan bahan bakar minyak, terutama yang digunakan baik untuk kendaraan bermotor maupun untuk menghasilkan listrik adalah Bahan Bakar Gas (BBG) dalam hal ini adalah biogas.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah biodegradable atau setiap limbah organik yang biodegradable dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida.

Sistem Dua Bahan Bakar (Dual Fuel System)

Dual fuel system solar-biogas adalah sistem bahan bakar yang menggunakan dua jenis bahan bakar sekaligus di dalam bekerjanya motor bakar sebagai motor penggerak yaitu bahan liquid (solar) dan bahan bakar gas (biogas) melalui sedikit modifikasi mixer mesin pada bagian intake manifold mesin diesel dan menggunakan gas injector untuk menyuplai biogas. Biogas yang masuk bercampur dengan udara di mixer kemudian masuk ke dalam ruang bakar, kemudian dari sisi lain bahan bakar liquid (solar) akan masuk sekaligus. Bahan bakar yang terdiri dari solar, biogas, dan udara akan dikompresi di ruang bakar untuk selanjutnya terbakar dan menghasilkan energy. Berikut adalah gambar mesin dengan sistem dua bahan bakar (*dual fuel sistem*).

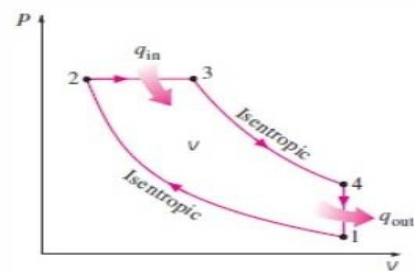
Mesin Diesel

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

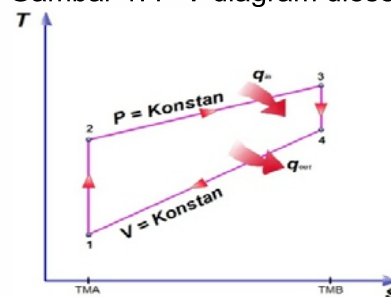
pada langkah ekspansi. Mesin diesel bekerja berdasarkan pada siklus diesel yang mempunyai perbandingan kompresi antara 14:1 sampai 24:1 sehingga udara yang terkompresi dapat mencapai suhu kurang lebih 450°C (tergantung dari perbandingan kompresi dan merk mesin diesel). Berbeda dengan siklus otto (kompresi 1:9) yang berkerja 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.



Gambar 1. P-V diagram diesel



Gambar 2. T-s diagram diesel

Performansi Mesin Diesel

Untuk mengetahui performansi mesin diesel dengan sistem dua bahan bakar, berikut beberapa persamaan untuk mengetahui Daya, Torsi, tekanan efektif rata-rata (bmep), *Specific Fuel Consumption* (SFC), *brake thermal efficiency* (η_b) dan *Air-Fuel Ratio* (AFR) (watt)



METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah mesin diesel Tiger R175 AN.

Pada leher saringan udara, akan dihubungkan dengan *solenoid valve* yang akan mengatur buka tutupnya biogas yang dihubungkan ke flowmeter, regulator gas dan tabung penyimpanan biogas dengan menggunakan selang gas bertekanan.

Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan kuat arus. Untuk mengukur putaran mesin dengan menggunakan RPM Digital dan sensor magnet atau secara manual dengan menggunakan *Tachometer*. Untuk mengukur pengurangan solar dengan buret dan flow meter untuk mengukur laju aliran gas LPG (L/min). Stop watch digunakan untuk mengukur waktu pengujian yaitu selama 5 menit. Untuk pembebanan digunakan rangkaian lampu pijar yang dihubungkan dengan generator.

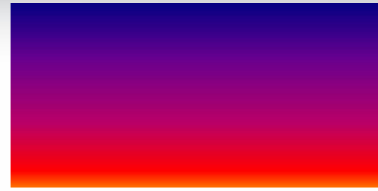
Untuk mengetahui emisi gas buang yang meliputi kekabutan (opacity), kandungan HC dan CO, digunakan *Engine Smokemeter* model HD-410, dan *Gas Analyzer model* HG-510.

Bahan yang menjadi subjek pengujian adalah bahan bakar solar dan biogas. biogas yang digunakan merupakan hasil purifikasi dengan kandungan methana 70 %.

Prosedur Pengujian Performansi Mesin Diesel dan Mesin Dua Bahan Bakar

Tujuan pengujian ini untuk mendapatkan performansi mesin diesel. Pengujian ini dilakukan dengan 6 variasi putaran yaitu 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500. Tiga variasi laju aliran biogas yaitu 2, 4, 6 l/min. Empat pembebanan yaitu 600 dan 900 Watt. Pengujian meliputi: Pengujian mesin diesel dengan bahan bakar solar murni Non Katalitik. Pengujian mesin diesel dengan bahan bakar solar murni Katalitik. Pengujian mesin diesel dengan sistem dua bahan bakar solar dan biogas Non Katalitik. Pengujian mesin diesel dengan sistem dua bahan bakar solar dan biogas Katalitik Konverter.

Berikut adalah gambar set up alat pada pengujian performansi mesin.



Gambar 3. Set up alat

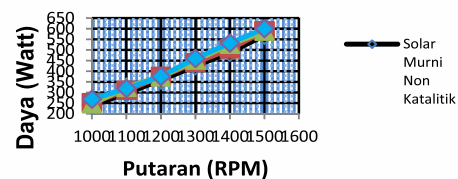
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja mesin diesel bahan bakar solar murni dengan mesin diesel sistem dua bahan bakar solar dan biogas. Performansi mesin meliputi daya, torsi, tekanan efektif rata-rata, Konsumsi bahan bakar spesifik, *efficiencythermal brake*, dan rasio udara bahan bakar.

Daya

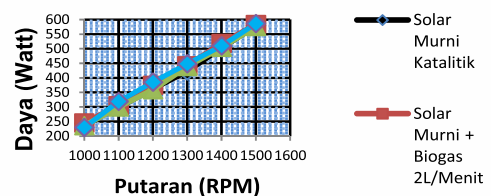
Gambar 4. Grafik Daya vs Putaran, beban 600 Watt

Grafik Daya vs Putaran, Beban 600 Watt



Penggunaan mesin diesel dengan sistem dua bahan bakar menghasilkan penambahan daya hampir disetiap putaran mesin pada pembebanan 600 Watt.

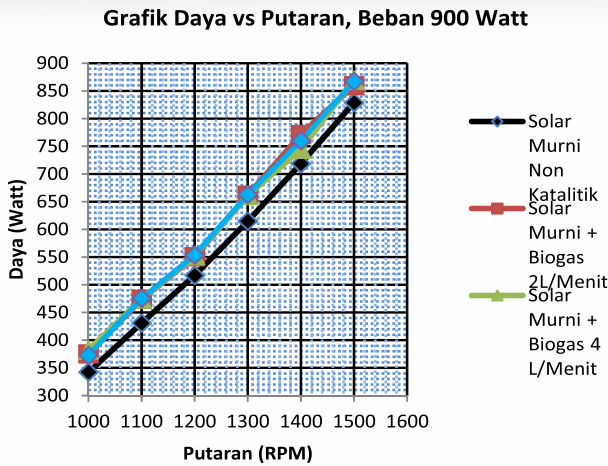
Grafik Daya vs Putaran, Beban 600 Watt Katalitik



Gambar

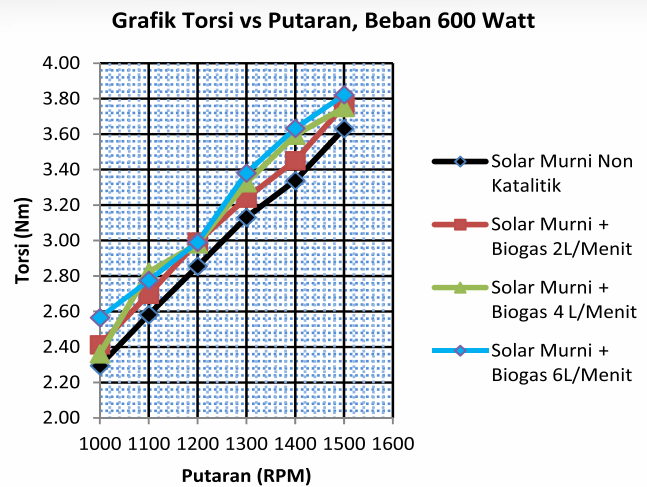
5. Grafik Daya vs Putaran, beban 600 Watt Katalitik

Penggunaan mesin diesel dengan sistem dua bahan bakar menghasilkan penambahan daya hampir disetiap putaran mesin pada pembebanan 600 Watt Katalitik.



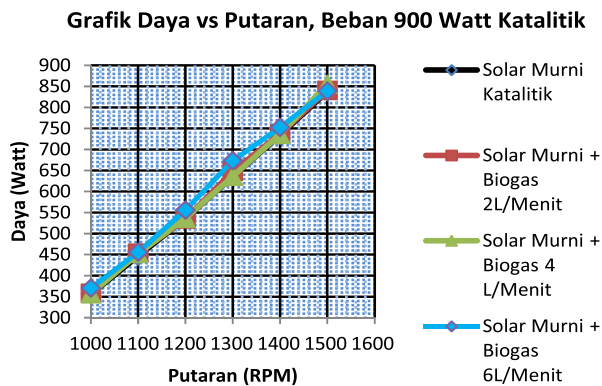
Gambar 6. Grafik Daya vs Putaran, beban 900 Watt

Penggunaan mesin diesel dengan sistem dua bahan bakar menghasilkan penambahan daya hampir disetiap putaran mesin pada pembebanan 900 Watt. Untuk tiap peningkatan laju aliran biogas, tidak terlihat peningkatan daya yang signifikan.



Gambar 8. Grafik Torsi vs Putaran, beban 600 Watt

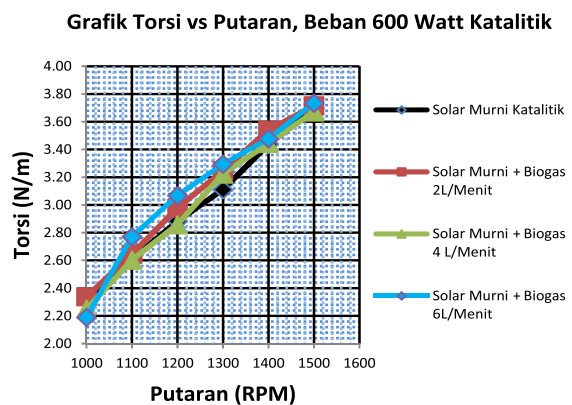
Torsi yang dihasilkan mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 600 Watt lebih tinggi dibanding torsi mesin pada saat menggunakan bahan bakar solar murni. Untuk peningkatan laju aliran biogas, tidak terlihat peningkatan torsi mesin yang signifikan.



Gambar 7. Grafik Daya vs Putaran, beban 900 Watt Katalitik

Penggunaan mesin diesel dengan sistem dua bahan bakar menghasilkan penambahan daya hampir disetiap putaran mesin pada pembebanan 900 Watt. Untuk tiap peningkatan laju aliran biogas, tidak terlihat peningkatan daya yang signifikan.

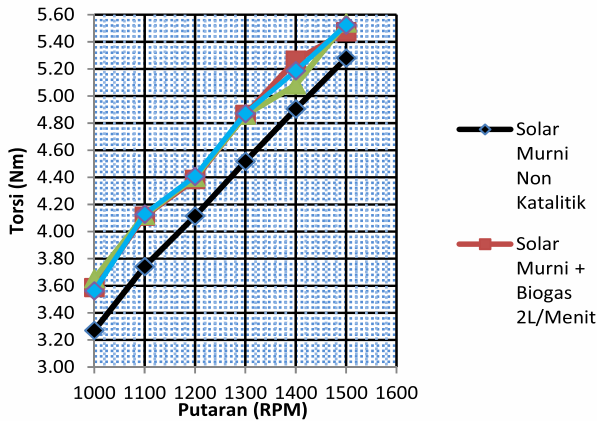
TORSI



Gambar 9. Grafik Torsi vs Putaran, beban 600 Watt Katalitik

Torsi yang dihasilkan mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 600 Watt lebih tinggi dibanding torsi mesin pada saat menggunakan bahan bakar solar murni. Untuk peningkatan laju aliran biogas, tidak terlihat peningkatan torsi mesin yang signifikan.

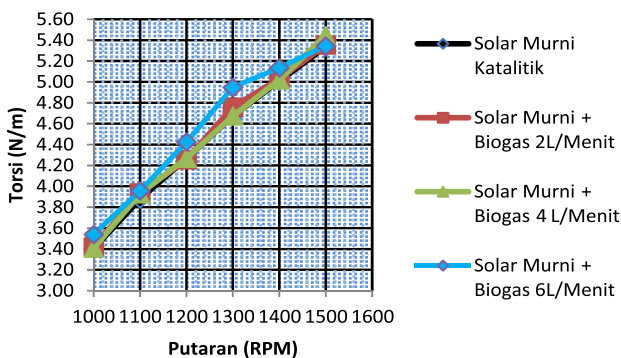
Grafik Torsi vs Putaran, Beban 900 Watt



Gambar10. Grafik Torsi vs Putaran, beban 900 Watt

Torsi yang dihasilkan mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 900 Watt lebih tinggi dibanding torsi mesin pada saat menggunakan bahan bakar solar murni. Torsi mesin dipengaruhi oleh daya mesin dan putaran mesin.

Grafik Torsi vs Putaran, Beban 900 Watt Katalitik

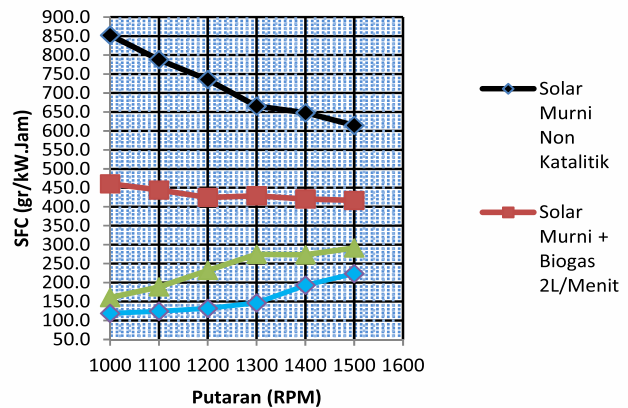


Gambar 11. Grafik Torsi vs Putaran, beban 900 Watt Katalitik

Torsi yang dihasilkan mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 900 Watt lebih tinggi dibanding torsi mesin pada saat menggunakan bahan bakar solar murni. Torsi mesin dipengaruhi oleh daya mesin dan putaran mesin.

KONSUMSI BAHAN BAKAR SPESIFIK (SFC)

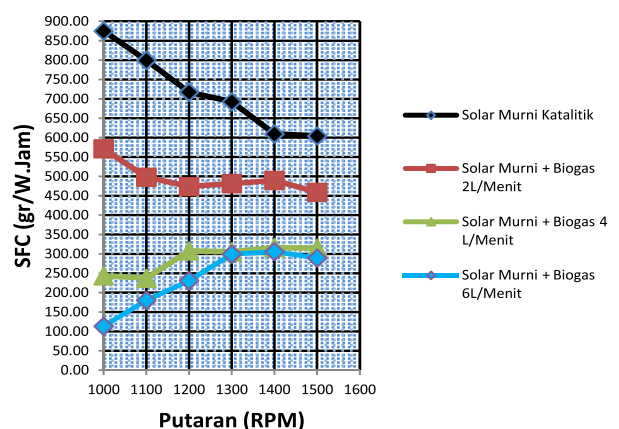
Grafik SFC vs Putaran, beban 600 Watt



Gambar 12. Grafik SFC vs Putaran, beban 600 Watt

Pada pembebanan 600 Watt, SFC mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 600 Watt lebih rendah dibanding SFC mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni, semakin tinggi aliran biogas, SFC mesin dengan sistem dua bahan bakar semakin rendah.

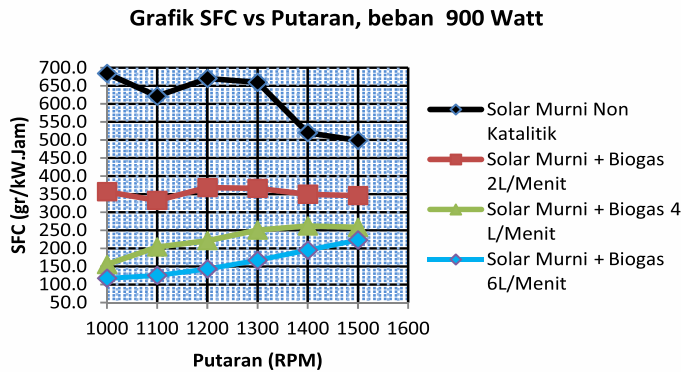
Grafik SFC vs Putaran, beban 600 Watt Katalitik



Gambar 13. Grafik SFC vs Putaran, beban 600 Watt Katalitik

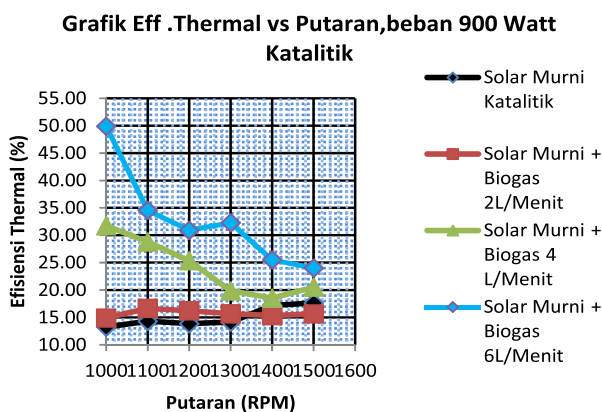
Pada pembebanan 600 Watt, SFC mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 600 Watt lebih rendah dibanding SFC mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni, semakin tinggi aliran biogas, SFC

mesin dengan sistem dua bahan bakar semakin rendah.



Gambar 14. Grafik SFC vs Putaran, beban 900 Watt

Pada pembebanan 900 Watt, SFC mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 600 Watt lebih rendah dibanding SFC mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni, semakin tinggi aliran biogas, SFC mesin dengan sistem dua bahan bakar semakin rendah.

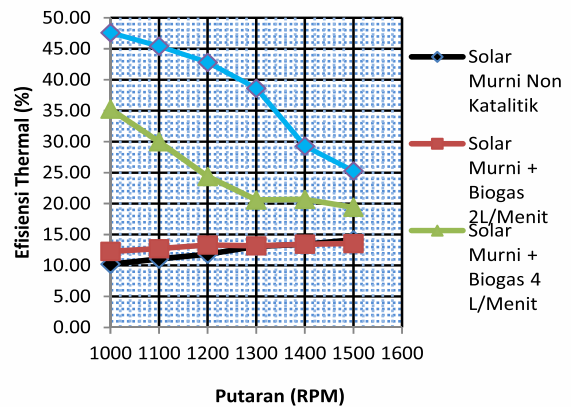


Gambar 15. Grafik SFC vs Putaran, beban 900 Watt Katalitik

Pada pembebanan 900 Watt, SFC mesin diesel setelah menggunakan sistem dua bahan bakar pada pembebanan 600 Watt lebih rendah dibanding SFC mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni, semakin tinggi aliran biogas, SFC mesin dengan sistem dua bahan bakar semakin rendah.

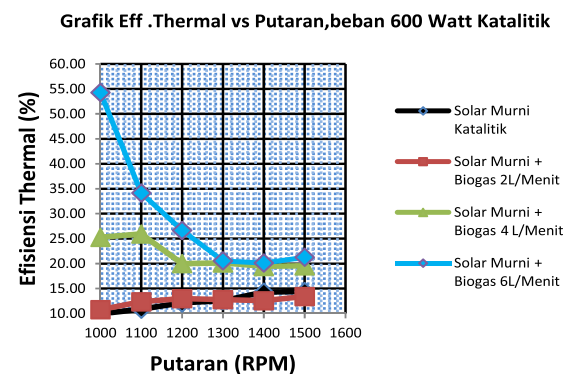
EFFICIENCY THERMAL BRAKE

Grafik Eff .Thermal vs Putaran,beban 600 Watt



Gambar 16. Grafik eff.Thermal vs Putaran, beban 600 Watt

Efisiensi thermal brake mesin setelah menggunakan bahan bakar solar murni dan biogas lebih tinggi dibanding efisiensi saat menggunakan bahan bakar solar murni. Efisiensi thermal brake mesin dipengaruhi besarnya daya aktual dan putaran mesin. Semakin tinggi laju aliran biogas, efisiensi thermal brakenya semakin tinggi juga.

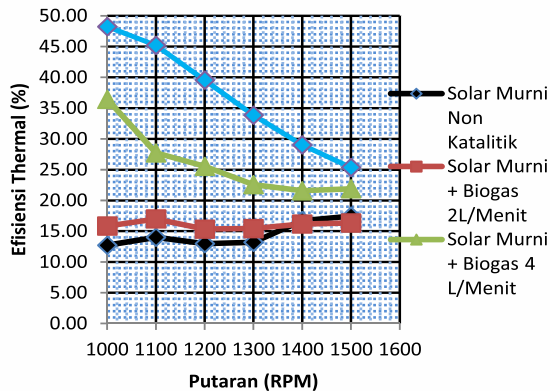


Gambar 17. Grafik eff.Thermal vs Putaran, beban 600 Watt Katalitik

Efisiensi thermal brake mesin setelah menggunakan bahan bakar solar murni dan biogas lebih tinggi dibanding efisiensi saat menggunakan bahan bakar solar murni. Efisiensi thermal brake mesin dipengaruhi besarnya daya aktual dan putaran mesin. Semakin tinggi laju aliran biogas, efisiensi thermal brakenya semakin tinggi juga.



Grafik Eff. Thermal vs Putaran, beban 900 Watt



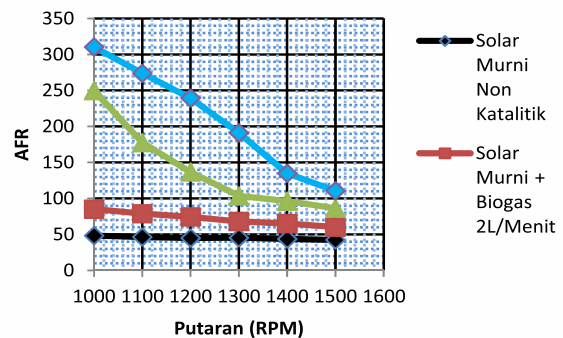
Gambar 18. Grafik eff. Thermal vs Putaran, beban 900 Watt

Efisiensi thermal brake mesin setelah menggunakan bahan bakar solar murni dan biogas lebih tinggi dibanding efisiensi saat menggunakan bahan bakar solar murni. Efisiensi thermal brake mesin dipengaruhi besarnya daya aktual dan putaran mesin. Kenaikan laju aliran biogas memiliki pengaruh terhadap efisiensi thermal brakenya. Semakin tinggi laju aliran biogas, efisiensi thermal brakenya semakin tinggi juga.

Efisiensi thermal brake mesin setelah menggunakan bahan bakar solar murni dan biogas lebih tinggi dibanding efisiensi saat menggunakan bahan bakar solar murni. Efisiensi thermal brake mesin dipengaruhi besarnya daya aktual dan putaran mesin. Kenaikan laju aliran biogas memiliki pengaruh terhadap efisiensi thermal brakenya. Semakin tinggi laju aliran biogas, efisiensi thermal brakenya semakin tinggi juga.

RASIO UDARA BAHAN BAKAR (AFR)

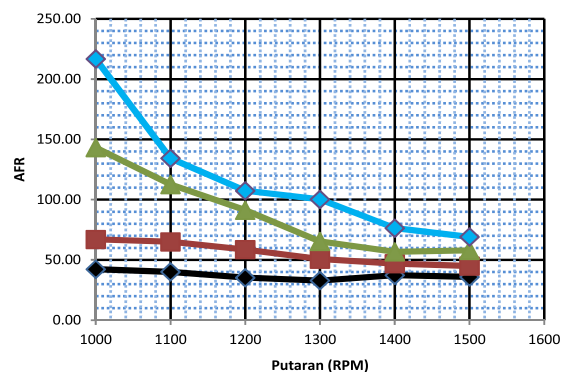
Grafik AFR vs Putaran, beban 600 Watt



Gambar 20. Grafik AFR vs Putaran, beban 600 Watt

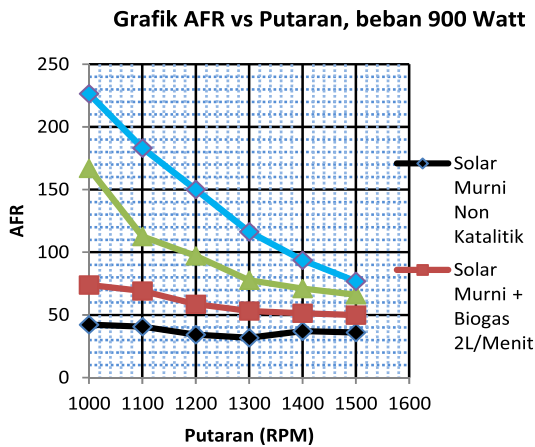
Rasio udara bahan bakar dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar. AFR mesin setelah menggunakan bahan bakar dengan sistem dua bahan bakar lebih tinggi dibanding AFR mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni. Semakin tinggi laju aliran biogas, AFRnya semakin tinggi juga.

Grafik AFR vs Putaran, beban 600 Watt Katalitik



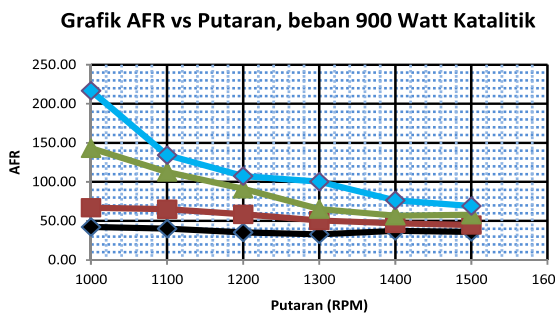
Gambar 21. Grafik AFR vs Putaran, beban 600 Watt Katalitik

Rasio udara bahan bakar dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar. AFR mesin setelah menggunakan bahan bakar dengan sistem dua bahan bakar lebih tinggi dibanding AFR mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni. Semakin tinggi laju aliran biogas, AFRnya semakin tinggi juga.



Gambar 22. Grafik AFR vs Putaran, beban 900 Watt

Pada pembebanan 900 Watt, AFR mesin setelah menggunakan bahan bakar dengan sistem dua bahan bakar lebih tinggi dibanding AFR mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni. Semakin tinggi laju aliran biogas, AFRnya semakin tinggi juga.

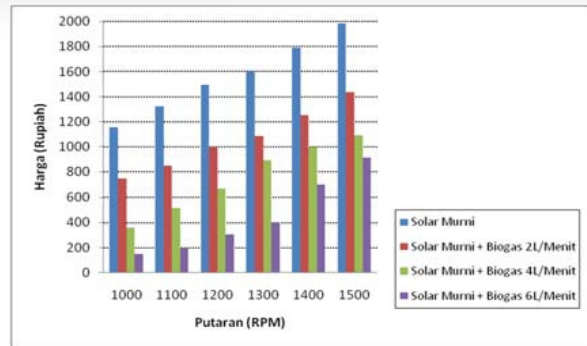


Gambar 23. Grafik AFR vs Putaran, beban 900 Watt

Pada pembebanan 900 Watt, AF mesin setelah menggunakan bahan bakar dengan sistem dua bahan bakar lebih tinggi dibanding AFR mesin saat menggunakan bahan bakar solar murni. Semakin tinggi laju aliran biogas, AFRnya semakin tinggi juga.

Nilai Ekonomis

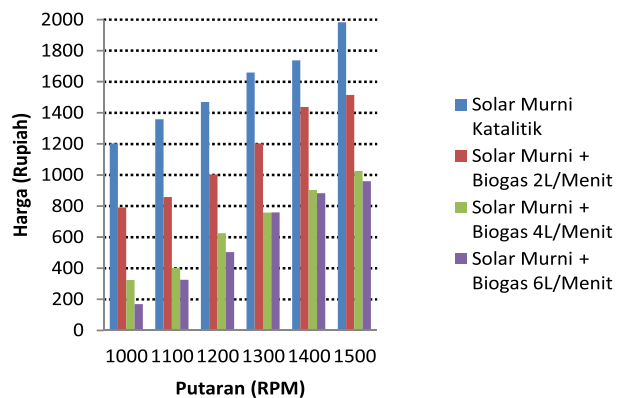
Nilai ekonomis perbandingan secara ekonomis laju aliran bahan bakar terhadap harga bahan bakar tersebut.



Gambar 24. Grafik perbandingan harga vs putaran pada beban 600 Watt

Semakin tinggi laju aliran biogas yang mengalir kedalam mesin, semakin rendah pula biaya ekonomis yang harus dikeluarkan. Hal ini disebabkan oleh konsumsi solar semakin rendah.

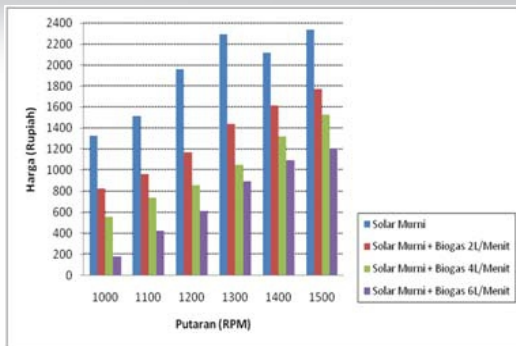
Biaya ekonomis terendah pada bahan bakar solar + biogas 6 l/min pada putaran 1000 yaitu sebesar Rp. 146,99 dan biaya ekonomis tertinggi pada bahan bakar solar murni dengan putaran 1500 yaitu sebesar Rp. 1982,02.



Gambar 25. Grafik perbandingan harga vs putaran pada beban 600 Watt Katalitik

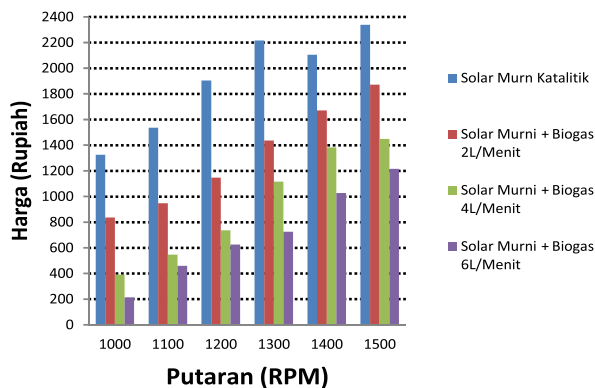
Biaya ekonomis terendah pada bahan bakar solar + biogas 6 l/min pada putaran 1000 yaitu sebesar Rp. 169,26 dan biaya ekonomis tertinggi pada bahan bakar solar murni dengan putaran 1500 yaitu sebesar Rp. 1982,02.





Gambar 26. Grafik perbandingan harga vs putaran pada beban 900 Watt

Biaya ekonomis terendah pada bahan bakar solar + biogas 6 l/min pada putaran 1000 yaitu sebesar Rp. 180,40 dan biaya ekonomis tertinggi pada bahan bakar solar murni putaran 1500 sebesar Rp. 2338,00.



Gambar 27. Grafik perbandingan harga vs putaran pada beban 900 Watt Katalitik

Biaya ekonomis terendah pada bahan bakar solar + biogas 6 l/min pada putaran 1000 yaitu sebesar Rp. 213,80 dan biaya ekonomis tertinggi pada bahan bakar solar murni dengan putaran 1500 yaitu sebesar Rp. 2338,34.

Dari seluruh grafik diatas dapat diperoleh setelah menggunakan sistem dua bahan bakar (dual fuel) nilai ekonomis semakin tinggi. Setelah menggunakan katalitik terjadi sedikit penurunan nilai ekonomis.

Emisi Gas Buang

Emisi gas buang yang diukur adalah kekabutan (*opacity*), HC (*hydrocarbon*), CO (karbon monoksida).

Tabel 1. Emisi gas buang bahan bakar solar murni

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 9.4 | 0.02 | 4 |
| | 1100 | 300 | 14.7 | 0.02 | 8 |
| | 1200 | 300 | 17.7 | 0.02 | 9 |
| | 1300 | 300 | 16.9 | 0.02 | 8 |
| | 1400 | 300 | 16.7 | 0.02 | 5 |
| | 1500 | 300 | 13.5 | 0.02 | 6 |
| 900 | 1000 | 300 | 16.2 | 0.03 | 9 |
| | 1100 | 300 | 20 | 0.03 | 10 |
| | 1200 | 300 | 19.3 | 0.03 | 6 |
| | 1300 | 300 | 27.3 | 0.02 | 7 |
| | 1400 | 300 | 30.5 | 0.02 | 8 |
| | 1500 | 300 | 26.1 | 0.02 | 6 |

Dengan bahan bakar solar murni, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, Semakin tinggi putaran mesin, opacity gas buang semakin tinggi juga. Kandungan CO berkisar antara 0,02-0,03 %. Kandungan HC berkisar antara 4-10 ppm.

Tabel 2. Emisi gas buang bahan bakar solar murni katalitik

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 6 | 0,01 | 6 |
| | 1100 | 300 | 6,9 | 0,01 | 10 |
| | 1200 | 300 | 6,5 | 0,02 | 6 |
| | 1300 | 300 | 5,6 | 0,01 | 4 |
| | 1400 | 300 | 4,9 | 0,01 | 6 |
| | 1500 | 300 | 9 | 0,01 | 6 |
| 900 | 1000 | 300 | 8,7 | 0,03 | 10 |
| | 1100 | 300 | 8,6 | 0,02 | 7 |
| | 1200 | 300 | 10,4 | 0,01 | 6 |
| | 1300 | 300 | 11 | 0,02 | 4 |
| | 1400 | 300 | 9,3 | 0,01 | 9 |
| | 1500 | 300 | 7 | 0,01 | 7 |

Dengan bahan bakar solar murni katalitik, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, Semakin tinggi putaran mesin, opacity gas buang semakin tinggi juga. Kandungan CO berkisar antara 0,01-

0,03 %. Kandungan HC berkisar antara 4-10 ppm.

Tabel 3. Emisi gas buang bahan bakar solar murni + 2 l/min biogas

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 1.4 | 0.13 | 294 |
| | 1100 | 300 | 2 | 0.13 | 274 |
| | 1200 | 300 | 2.3 | 0.13 | 255 |
| | 1300 | 300 | 3.7 | 0.12 | 237 |
| | 1400 | 300 | 4.5 | 0.11 | 225 |
| | 1500 | 300 | 5.1 | 0.11 | 200 |
| 900 | 1000 | 300 | 4.9 | 0.13 | 279 |
| | 1100 | 300 | 5.4 | 0.12 | 250 |
| | 1200 | 300 | 6.7 | 0.13 | 219 |
| | 1300 | 300 | 8.8 | 0.11 | 204 |
| | 1400 | 300 | 9.3 | 0.12 | 192 |
| | 1500 | 300 | 11.7 | 0.11 | 170 |

Dengan bahan bakar solar murni dan 2 l/min biogas, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, untuk beban yang sama semakin tinggi putaran mesin, nilai opacity semakin tinggi dan kandungan HC semakin turun. Kandungan CO berkisar antara 0,11-0,13 %. Kandungan HC berkisar antara 170-294 ppm.

Tabel 4. Emisi gas buang bahan bakar solar murni + 2 l/min biogas katalitik

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 5,2 | 0,05 | 412 |
| | 1100 | 300 | 5,2 | 0,04 | 382 |
| | 1200 | 300 | 5,4 | 0,04 | 340 |
| | 1300 | 300 | 5,8 | 0,03 | 270 |
| | 1400 | 300 | 6,2 | 0,02 | 206 |
| | 1500 | 300 | 6,6 | 0,02 | 126 |
| 900 | 1000 | 300 | 7 | 0,04 | 317 |
| | 1100 | 300 | 7,5 | 0,03 | 278 |
| | 1200 | 300 | 8,3 | 0,04 | 224 |
| | 1300 | 300 | 8,6 | 0,02 | 211 |
| | 1400 | 300 | 8,8 | 0,02 | 194 |
| | 1500 | 300 | 8,9 | 0,01 | 173 |

Dengan bahan bakar solar murni dan 2 l/min biogas, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, untuk beban yang sama semakin tinggi putaran mesin, nilai opacity semakin tinggi dan kandungan HC semakin turun. Kandungan CO berkisar antara 0,01-0,05 %. Kandungan HC berkisar antara 126-412 ppm.

Tabel 5. Emisi gas buang bahan bakar solar murni + 4 l/min biogas

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 2.2 | 0.15 | 362 |
| | 1100 | 300 | 4.8 | 0.15 | 339 |
| | 1200 | 300 | 6.6 | 0.16 | 317 |
| | 1300 | 300 | 7.8 | 0.15 | 298 |
| | 1400 | 300 | 8 | 0.16 | 285 |
| | 1500 | 300 | 8.9 | 0.15 | 264 |
| 900 | 1000 | 300 | 3 | 0.17 | 347 |
| | 1100 | 300 | 4.7 | 0.17 | 318 |
| | 1200 | 300 | 6.4 | 0.15 | 293 |
| | 1300 | 300 | 7.8 | 0.15 | 264 |
| | 1400 | 300 | 8.2 | 0.16 | 247 |
| | 1500 | 300 | 10.4 | 0.14 | 222 |

Dengan bahan bakar solar murni dan 4 l/min biogas, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, Semakin tinggi putaran mesin, opacity gas buang bahan bakar solar murni semakin tinggi juga. Kandungan CO berkisar antara 0,14-0,17%. Kandungan HC berkisar antara 222-362 ppm.

Tabel 6. Emisi gas buang bahan bakar solar murni + 4 l/min biogas katalitik

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 3,4 | 0,03 | 321 |
| | 1100 | 300 | 3,8 | 0,05 | 301 |
| | 1200 | 300 | 3,9 | 0,02 | 258 |
| | 1300 | 300 | 4 | 0,05 | 242 |
| | 1400 | 300 | 4,3 | 0,02 | 221 |
| | 1500 | 300 | 4,5 | 0,05 | 201 |
| | 900 | 1000 | 300 | 3,9 | 0,04 |
| 1100 | | 300 | 4,3 | 0,04 | 252 |
| 1200 | | 300 | 4,8 | 0,02 | 237 |
| 1300 | | 300 | 5,2 | 0,02 | 216 |
| 1400 | | 300 | 5,4 | 0,03 | 206 |
| 1500 | | 300 | 6,2 | 0,06 | 196 |

Dengan bahan bakar solar murni dan 4 l/min biogas, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, Semakin tinggi putaran mesin, opacity gas buang bahan bakar solar murni semakin tinggi juga. Kandungan CO berkisar antara 0,02-0,06%. Kandungan HC berkisar antara 196-321 ppm.



Tabel 7. Emisi gas buang bahan bakar solar murni + 6 l/min biogas

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 2,6 | 0,15 | 472 |
| | 1100 | 300 | 3,6 | 0,16 | 419 |
| | 1200 | 300 | 4 | 0,16 | 363 |
| | 1300 | 300 | 6 | 0,15 | 326 |
| | 1400 | 300 | 6,8 | 0,15 | 311 |
| | 1500 | 300 | 7,6 | 0,16 | 290 |
| 900 | 1000 | 300 | 3,6 | 0,16 | 430 |
| | 1100 | 300 | 4,2 | 0,15 | 397 |
| | 1200 | 300 | 5,7 | 0,16 | 345 |
| | 1300 | 300 | 6,8 | 0,14 | 310 |
| | 1400 | 300 | 7,7 | 0,14 | 285 |
| | 1500 | 300 | 8,8 | 0,16 | 268 |

Dengan bahan bakar solar murni dan 6 l/min biogas, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, Semakin tinggi putaran mesin, opacity gas buang bahan bakar solar murni semakin tinggi juga. Kandungan CO berkisar antara 0,14-0,16 %. Kandungan HC berkisar antara 268-472 ppm.

Tabel 8. Emisi gas buang bahan bakar solar murni + 6 l/min biogas katalitik

| Beban (Watt) | Putaran ((RPM) | Waktu (s) | Opcty (%) | CO (%) | HC (ppm) |
|--------------|----------------|-----------|-----------|--------|----------|
| 600 | 1000 | 300 | 2,3 | 0,02 | 290 |
| | 1100 | 300 | 2,6 | 0,02 | 283 |
| | 1200 | 300 | 2,7 | 0,02 | 262 |
| | 1300 | 300 | 2,9 | 0,02 | 208 |
| | 1400 | 300 | 3,1 | 0,02 | 216 |
| | 1500 | 300 | 3,4 | 0,02 | 198 |
| 900 | 1000 | 300 | 2 | 0,03 | 303 |
| | 1100 | 300 | 2,5 | 0,01 | 216 |
| | 1200 | 300 | 3,3 | 0,01 | 211 |
| | 1300 | 300 | 3,9 | 0,01 | 206 |
| | 1400 | 300 | 4,5 | 0,01 | 193 |
| | 1500 | 300 | 5,1 | 0,02 | 185 |

Dengan bahan bakar solar murni dan 6 l/min biogas, pada pembebanan 600 dan 900 Watt, pada putaran 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 rpm, Semakin tinggi putaran mesin, opacity gas buang bahan bakar solar murni semakin tinggi juga. Kandungan CO berkisar antara 0,01-0,03 %. Kandungan HC berkisar antara 185-303 ppm.

Dari tabel emisi diatas dapat dilihat bahwa setelah mesin menggunakan sistem dua bahan bakar menggunakan katalitik konverter, opacity (kekabutan) dan COnya

dan kandunganHC juga menurun. Untuk setiap kenaikan laju aliran biogas semakin tinggi laju aliran biogas, opacitinya semakin rendah, dan kandungan HC dan COnya semakin meningkat.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian performansi mesin diesel satu silinder dengan sistem dua bahan bakar (*dual fuel*) solar-biogas dengan nilai methane biogas 60% dan penggunaan katalitik dan non katalitik.

1. Konsumsi solar yang digunakan berkurang dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar murni baik pada penggunaan katalitik dan non katalitik.
2. Rata rata performansi yang dihasilkan dari pengujian menggunakan sistem dua bahan bakar (*dual fuel*) cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan solar murni dan setelah penggunaan katalitik performansinya juga lebih tinggi dibandingkan dengan non katalitik.
3. Kepekatan gas buang pada campuran dua bahan bakar (*dual fuel*) jauh lebih rendah dibandingkan dengan solar murni dan setelah penggunaan katalitik kepekatan gas buangnya juga menurun.
4. Nilai HC, CO jauh lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni. Karena hasil pembakaran berjalan kurang sempurna karena tingginya sisa hidrokarbon dan karbon monoksida akan tetapi nilai CO cenderung menurun setelah penggunaan katalitik konverter.
5. Nilai ekonomis pada campuran dua bahan bakar (*dual fuel*) lebih hemat dibandingkan dengan bahan bakar solar murni dan menggunakan katalitik konverter sedikit menurunkan nilai ekonomisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunanadar, Wiranto.2004.“Motor Diesel Putaran Tinggi”. Penerbit : Pradnya Paramita, Jakarta
- Arismunandar, Wiranto.1988.“Penggerak Mula Motor Bakar Torak”. Edisi kelima. Penerbit : ITB Bandung

- Barik and Murugan.2012.*Production and Application of Biogas as a Gaseous Fuel for Internal Combustion Engines*.National Institute of Technology, Rourkela, Odisha, India.
- Buku Petunjuk Yanmar Motor Diesel Yanmar Seri TF (M)". Penerbit :PT. Yanmar Diesel Indonesia.
- Crouse, William. H.1976 "Automotive Mechanics", Seventh Edition-McGrawHill Book Company
- Culp, Archie, W, 1991 ."Prinsip – Prinsip Konversi Energi". Cetakan ketiga. Penerbit : Erlangga, Jarkarta. Hal. 44.
- Herringshaw, brian. 2009. *A Study of Biogas Utilization Efficiency Highlighting Internal Combustion Electrical Generator Units*. The Ohio State niversity
- Heywod, Jhon, B.1988. "Internal Combustion Engine Fundamentals". McGraw Hill Book Company, New York.
- Lichy, L.C, Internal Combustion Engine, Mc Graw Hill Kogakusfa Ltd, Tokyo, 1979, h 523-560.
- Ludington, David.2008.Calculating the Heating Value of Biogas .Dltech,Inc:Itchaca, NY
- Maleev, V.L, Internal Combustion Engine, Mc Graw Hill Kogakusha Ltd, Tokyo, 1954, h 410-559.
- Mathur R.P Sharma, 1980, A Course Internal Combustion Engine 3rd Edition, Phanpat Rai & Son 1682, NAISARAK< Delhi 110006.
- Omid, Mirzamohammad, Assadi.2011. *Literature Review and Map for Using Biogas in Internal Combustion Engines*. University of Stavanger Norway.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang.
- Piriou, B. et al. Potential direct use of solid biomass in internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 39 (2013) 169–189 : Elsevier Ltd.
- Pourmovahead, Ahmad. Opperman, Terrence. Lemke, Brenda."Performance and Efficiency of a Biogas CHP System Utilizing a Stirling Engine", Kettering University, Michigan.
- Pulkrabek, Willard W. 1997. "Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine". Prentice Hall, New Jersey.
- Ryckebosch E, Muylaert K, Foubert I. 2011. Optimization of an Analytical Procedure for Extraction of Lipids from Microalgae. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 89(2):189-198.
- Skrotzki, Bernad, D. Penerjemah Zulkifli Harahap. 1979. "Power Station Engineering and Economy". Mc Graw Hill Publishing Book Company Ltd, New Delhi, hal 170.
- Slawomir Wierzbicky.2012. *Biogas As a Fuel For Diesel Engines*. Olsztyn.
- Svenskt Gastekniskt Center AB. 2012 "Basic Data On Biogas".2nd edition. Sweden.
- Tippayawong, N. Promwungkwa, A. Rerrkriangkrai. 2011. Long TermOperation of a small biogas/diesel dual-fuel engine for on-farmelectricity generation". Chiang Mai University, Thailand.
- Y. A. Çengel and M. A. Boles. 2006."Thermodynamics: An Engineering Approach", 5th edition, McGraw-Hill.

