

## PENGARUH ABSORSI GAS CO<sub>2</sub> DAN H<sub>2</sub>S DALAM BIOGAS MENGUNAKAN PASTA BATU APUNG TERHADAP PENINGKATAN UNJUK KERJA MOTOR BAKAR

Rudy Sutanto\*, Ida Bagus Alit, Gilang Rezeki

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB,  
83125, Indonesia, Telepon (0370) 6363126

\*Email: r\_sutanto10@yahoo.com

### ABSTRACT

*Human dependence on fossil fuels cause the reserves of energy resources is increasingly reduced. To overcome these problems is urgently needed alternative fuels which are cheap and readily available, one alternative fuel is biogas. However, the use of biogas not yet maximized because of low heating value of the biogas produced from the process without purification. Premium fueled vehicle proved to be turned on using biogas. Tests conducted on the variation of the engine rotation of 1500, 2500, 3500, and 4500 rpm and variations of biogas that has been purified using the paste pumice stone with a variation of the flow rate of purification of 2 liters / minute, 6 liter / minute, and 10 liters / minute. In this test should be able to get the best performance in terms of fineness engine rotation (force braking and fuel consumption). From the test results with the variation of rotation and flow rate variations purification of biogas obtained performance of the motor fuel of the best on rotation 4500 rpm with a flow rate of fuel biogas purification of 2 liters / minute produces a torque value of 6.98 Nm and an effective power of 3288.09 Watt while the value SFCE by 0.33 Liter / Jam.Watt. This proves that, biogas purification using paste pumice stone is able to improve quality of biogas.*

*Keywords : Biogas, pumice stone, torque, fuel consumption*

### PENDAHULUAN

Peningkatan sarana transportasi dalam kehidupan ini telah mengakibatkan pada membengkaknya akan kebutuhan pemakaian solar dan bensin sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Dengan ketergantungan yang sangat besar terhadap bahan bakar yang berasal dari minyak bumi hal ini tentunya harus lebih dikendalikan atau adanya upaya untuk pengalihan ke sumber energi lain yang bisa diperbaharui.

Dewasa ini telah banyak upaya yang dilakukan pemerintah untuk pengalihan dari penggunaan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi ke gas, misalnya konversi minyak tanah ke gas. Dan tentunya beberapa program yang sudah dijalankan meskipun belum optimal adalah pengalihan bahan bakar kendaraan bermotor dari bensin ke gas, baik yang berasal dari gas alam maupun biogas.

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan oleh fermentasi anaerobik dari bahan organik. Biogas dapat diproduksi dari limbah pasar, kotoran hewan, air limbah, dan kotoran manusia. Oleh karena itu, pengembangan instalasi biogas sangat sesuai dilakukan di daerah yang populasi ternaknya padat, daerah pertanian sayuran dan di daerah yang banyak industri pengolahan hasil pertanian. Di daerah tersebut dapat dibangun instalasi biogas baik secara individu maupun berkelompok dengan

cara menyatukan semua saluran limbahnya ke dalam satu sistem biogas. Dengan demikian limbah yang tadinya mencemari lingkungan dapat dihilangkan bahkan menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk memasak atau untuk penerangan bahkan menggerakkan generator.

Penemuan teknologi aplikatif sederhana dalam menghasilkan biogas menjadikan teknologi ini sudah banyak diterapkan dimasyarakat karena lebih murah dan mudah dalam pengoperasiannya. Meskipun penerapannya sebagai besar baru sebagai bahan bakar kompor dalam rumah tangga. Untuk itu peneliti mencoba mengkaji lebih lanjut tentang aplikasi biogas sebagai pengganti bahan bakar pada motor bensin baik untuk generator atau penggerak mekanik lainnya. Dengan kandungan impurities (CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S) pada biogas maka perlu pemurnian apabila digunakan pada kendaraan bermotor agar tidak bersifat korosif dan dapat meningkatkan nilai kalor.

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu untuk menentukan pengaruh penggunaan bahan bakar biogas yang telah melalui proses pemurnian menggunakan pasta batu apung dengan variasi laju aliran pemurnian terhadap peningkatan unjuk kerja motor bakar.

Agar pengujian yang dilakukan tidak terlalu melebar dari tujuan yang hendak dicapai, maka ditentukan batasan permasalahan. Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Membahas proses pemurnian biogas
2. Membahas proses pembuatan biogas
3. Bahan yang digunakan dalam pembuatan biogas adalah kotoran kuda dengan campuran berbagai macam sampah rumah tangga
4. Tidak membahas reaksi mikroorganisme di dalam digester
5. Tidak membahas emisi gas buang yang dihasilkan
6. Tidak menganalisa komposisi kimia dalam biogas
7. Membahas unjuk kerja motor bakar ditinjau dari beban pengereman dan konsumsi bahan bakar
8. Pengujian dilakukan pada kondisi kendaraan dalam keadaan diam dengan variasi putaran mesin 1500 rpm, 2500 rpm, 3500 rpm, dan 4500 rpm.
9. Variasi laju aliran pemurnian biogas 2 liter/menit, 6 liter/menit dan 10 lt/menit.

Tujuan dari penelitian ini adalah ingin mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar biogas yang telah melalui proses pemurnian menggunakan pasta batu apung dengan variasi laju aliran pemurnian terhadap peningkatan unjuk kerja motor bakar.

## DASAR TEORI

Penggunaan BBG untuk kendaraan bermotor membutuhkan perangkat yang disebut conversion kit. Tetapi kendala yang dijumpai pada perangkat conversion kit standar untuk kendaraan bermotor yaitu masih belum memberikan fungsi yang optimal, motor cenderung memiliki putaran tinggi pada kondisi *idle*, selain itu untuk melakukan akselerasi selalu terjadi keterlambatan dalam suplai bahan bakar ke ruang bakar sehingga menurunkan kinerja dari motor. (Kristanto et. al, 2001)

Penelitian oleh Pamungkas, A. B. C (2012) tentang "Optimalisasi Pemanfaatan Biogas Termurnikan Untuk Bahan Bakar Sepeda Motor Melalui Absorber NaOH" hasil pengujian dengan variasi putaran dan variasi laju aliran menghasilkan torsi, daya efektif dan SFCE yang dihasilkan mengalami peningkatan ditinjau dari putaran 4500 rpm pada laju aliran pemurnian 5 ltr/mnt.

Penelitian oleh Ma'bud Towilan (2013) tentang "Pengaruh Ignition Timing Dengan Bahan Bakar LPG Terhadap Unjuk Kerja Mesin Bensin Empat Langkah Satu Silinder"

hasil uji eksperimen yang dilakukan dengan variasi putaran dan variasi waktu pengapian sebelum TMA menghasilkan torsi, daya efektif dan SFCE. Torsi dan daya efektif tertinggi dihasilkan pada waktu pengapian 17° sebelum TMA dengan putaran 4500 rpm sedangkan SFCE terendah pada waktu pengapian 17° sebelum TMA dengan putaran 4500 rpm.

Penelitian oleh Artayana (2014) tentang "Pengaruh Variasi Konverter Biogas Terhadap Unjuk Kerja Pada Mesin Genset Berkapasitas 1200 Watt" hasil penelitian yang dilakukan variasi laju aliran volume tekanan bahan bakar biogas terhadap diameter lubang saluran udara luar yang masuk ke dalam konverter menuju ke ruang bakar untuk dapat menaikkan performa mesin genset. bahan bakar premium yang diganti dengan biogas sangat berpengaruh terhadap daya mesin, energi, power, konsumsi bahan bakar, nilai kalor, massa bahan bakar dan efisiensi dari mesin genset. Sehingga pada hasilnya didapatkan pada bukaan variasi laju aliran volume bahan bakar biogas (3,7 lt/mnt) terhadap bukaan diameter saluran udara (0,3cm), menghasilkan daya terendah (440 Watt), dan mengalami peningkatan sampai batas yang paling optimum (1,1cm) dengan laju aliran volume (7,5 lt/mnt) daya yang dihasilkan mencapai (924 Watt).

Biogas merupakan bahan bakar gas yang dapat diperbaharui (*renewable fuel*) yang dihasilkan secara anaerobic digestion atau fermentasi anaerob dari bahan organik dengan bantuan bakteri metana seperti *Methanobacterium sp* (Anonim1, 2009). Bahan yang dapat terurai seperti biomassa (bahan organik bukan fosil), kotoran, sampah padat hasil aktivitas perkotaan dan lain-lain. Akan tetapi, biogas biasanya dibuat dari kotoran ternak seperti kerbau, sapi kambing, kuda, dan lain-lain. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH<sub>4</sub>). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana (CH<sub>4</sub>) semakin kecil nilai kalor (Pambudi, 2008).

## Batu Apung

Batu apung adalah jenis bebatuan berwarna terang, mengandung buih yang terbuat dari gelembung ber dinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batuan ini terbentuk dari magma asam oleh aksi letusan gunung berapi yang mengeluarkan materialnya ke udara,

kemudian mengalami transportasi secara horizontal dan terakumulasi sebagai batuan piroklastik. Sehingga menyebabkan batu apung mempunyai sifat vesicular yang tinggi. Sedangkan mineral-mineral yang terdapat dalam batu apung adalah feldspar, kuarsa, obsidian, kristobalit dan tridimit (Supriadi dkk, 2010). Batu apung digunakan untuk membuat bata yang tahan terhadap api, juga sebagai bahan toilet/sabun tangan, sebagai bahan untuk mengasah, sebagai bahan plester, filter. Batu apung digunakan untuk membuat genteng dan bahan cat, *rubber filter*, dan *asphalt filter* (Graha, 2012). Sebagai media filtrasi batu apung banyak digunakan untuk membersihkan limbah perkotaan dan industri, karena mempunyai luas area permukaan yang besar serta berpori banyak, sehingga batu apung ideal untuk digunakan sebagai agen filtrasi, lihat gambar 1, Supriadi dkk. (2010).



Gambar 1. Batu Apung, Supriadi dkk (2010)

### Pemurnian Biogas

Biogas mengandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S. pemurnian biogas dapat dilakukan dengan teknik absorpsi. Absorpsi adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu liquid. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan liquid yang mempunyai selektivitas pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya. Untuk absorpsi kimia, transfer massanya dilakukan dengan bantuan reaksi kimia. Suatu pelarut kimia yang berfungsi sebagai absorben akan bereaksi dengan gas asam (CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S) menjadi senyawa lain, sehingga gas alam yang dihasilkan sudah tidak lagi mengandung gas asam yang biasanya akan mencemari lingkungan apabila ikut terbakar, Purnomo (2009).

### Motor Bakar

Seperti kita ketahui roda-roda suatu kendaraan memerlukan adanya sumber tenaga luar yang memungkinkan kendaraan dapat bergerak serta dapat mengatasi keadaan jalan, udara dan sebagainya. Sumber dari luar yang menghasilkan tenaga disebut mesin. Mesin merupakan alat yang merubah sumber tenaga panas, listrik, air, angin, tenaga atom, atau sumber tenaga lainnya menjadi tenaga mekanik (*mechanical energy*). Mesin yang merubah tenaga panas menjadi tenaga mekanik disebut motor bakar (*thermal engine*). (Arismunandar, 1998).

### Torsi

Torsi merupakan harga yang diperlihatkan oleh momen motor melalui keluaran dari poros output mesin. Adapun persamaan untuk menghitung torsi adalah (Heywood, 1998)

$$T = FL \quad (1)$$

Dimana  $T$  adalah torsi (Nm),  $F$  menyatakan gaya pengereman (N) dan  $L$  adalah panjang lengan (m).

### Daya Efektif

Besarnya daya efektif ( $N_e$ ) akan tergantung dari besarnya torsi dan putaran yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari persamaan berikut (Arismunandar, 1998):

$$N_e = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (2)$$

Dimana  $N_e$  adalah daya efektif (Watt) dan  $n$  adalah putaran dalam RPM.

### Specific fuel consumption effective (SFCe)

Konsumsi bahan bakar efektif atau *specific fuel consumption effective* (SFCe) ditentukan dengan persamaan (Anonim 2, 2001) :

$$SFCe = \frac{FC}{N_e} \quad (3)$$

Dengan  $FC$  adalah penggunaan bahan bakar pada kondisi tertentu (liter/jam). SFCe sebagai parameter yang biasa dipakai sebagai ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar yang dipakai per jam untuk setiap daya yang dihasilkan. Harga SFCe yang lebih rendah menyatakan efisiensi yang lebih tinggi.

## METODE PENELITIAN

### Variabel Penelitian

Variabel bebas adalah variable yang mempengaruhi variable terikat. Adapun yang merupakan variable bebas dalam penelitian ini, yaitu :

- Putaran mesin yang digunakan adalah 1500,2500,3500, dan 4500 rpm
- Bahan bakar biogas dengan variasi laju aliran pemurnian 2 liter/menit, 6 liter/menit dan 10 liter/menit.

Variabel Terikat adalah variabel yang menjadi perhatian utama dari peneliti, dengan menganalisa variable terikat diharapkan dapat ditemukan jawaban atau penyelesaian permasalahan. Adapun variable terikat dalam pengujian ini adalah :

- Torsi.
- Daya efektif.
- Specific fuel consumption effective.

### Prosedur Pengujian

#### Persiapan

- Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
- Perakitan alat.

#### Pengujian

- Mencari faktor koreksi

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang memiliki nilai keabsahan tinggi maka dilakukan koreksi pada alat ukur torsi. Hal ini dilakukan dengan membandingkan torsi spesifikasi pabrik dengan torsi hasil pengukuran, sehingga didapatkan nilai dari faktor koreksi (C).

$$C = \frac{T \text{ spesifikasi}}{T \text{ pengukuran}} \quad (4)$$

Maka perhitungan torsi menjadi :

$$T = FLC \quad (5)$$

- Biogas sebelum pemurnian.
- Memasukkan biogas sebelum pemurnian ke dalam kompresor.
- Melakukan perakitan alat.
- Pengujian unjuk kerja motor bakar dengan mencatat besarnya gaya pengereman dan konsumsi bahan bakar yang merupakan bagian dari variabel penelitian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.
- Biogas yang telah dimurnikan menggunakan pasta batu apung dengan variasi laju aliran 2 liter/menit, 6 liter/menit dan 10 liter/menit.

- Memasukkan biogas termurnikan ke dalam kompresor.
- Melakukan perakitan alat.
- Pengujian unjuk kerja motor bakar dengan mencatat besarnya gaya pengereman dan konsumsi bahan bakar yang merupakan bagian dari variabel penelitian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.
- Mengulangi langkah dari dari no. 6 sampai no. 9 untuk variasi laju aliran selanjutnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan Data

#### Torsi

Dalam menghitung besarnya torsi pada mesin yang digunakan, dapat dilakukan dengan cara mengalikan besarnya gaya pengereman dengan jari-jari *pulley* dan faktor koreksi

#### Daya Efektif

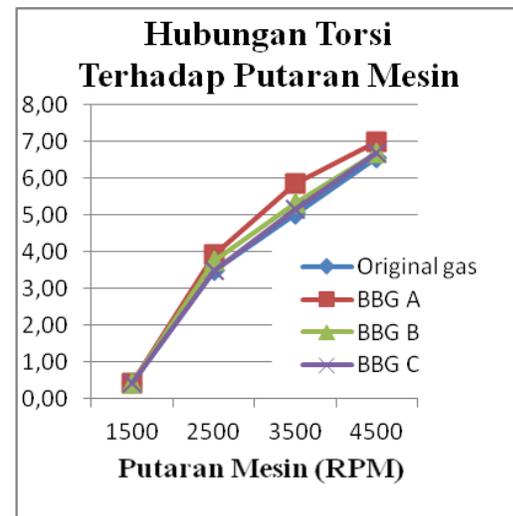
Untuk menghitung besarnya daya efektif dapat digunakan persamaan (2).

#### Specific Fuel consumption Effective (SFCe)

Mencari besarnya SFCe dapat dihitung dengan membagi besarnya konsumsi bahan bakar dengan daya efektif yang dihasilkan, seperti yang diperlihatkan pada persamaan (3).

## PEMBAHASAN

### Pengaruh Jenis Bahan Bakar Gas Terhadap Torsi



Gambar 2. Hubungan torsi terhadap putaran mesin

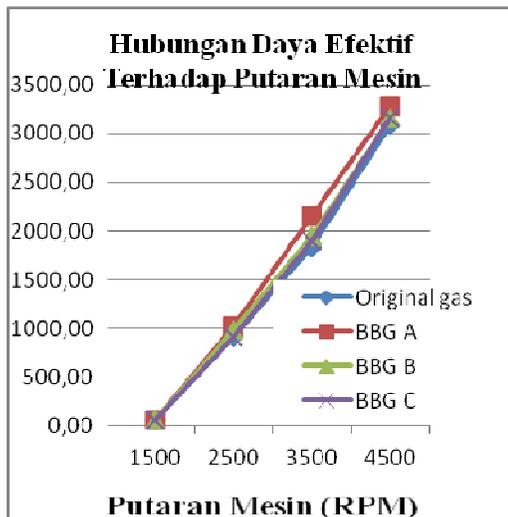
Berdasarkan grafik yang diperlihatkan pada gambar 2 memperlihatkan nilai torsi meningkat seiring meningkatnya putaran mesin (dari putaran 1500 – 4500).

Untuk penerapan semua jenis bahan bakar gas, jenis bahan bakar gas A secara umum menghasilkan nilai torsi paling tinggi jika dibandingkan dengan jenis bahan bakar B, C dan Original gas. Hal ini menandakan bahwa nilai kalor yang dimiliki bahan bakar gas A lebih tinggi dibandingkan jenis bahan bakar gas lainnya, hal ini dikarenakan pada jenis bahan bakar gas A memiliki kandungan gas CH<sub>4</sub> paling tinggi. Biogas memiliki kandungan CH<sub>4</sub> yang dapat melakukan proses pembakaran yang mana nilai kalor CH<sub>4</sub> sebesar 12.740 Kkal/kg (Harasimowicz dkk 2007). Oleh karena itu jenis bahan bakar gas A memiliki nilai kalor paling tinggi dengan bukti dapat menghasilkan nilai torsi yang paling besar dari jenis bahan bakar lainnya.

### Pengaruh Jenis Bahan Bakar Gas Terhadap Daya Efektif

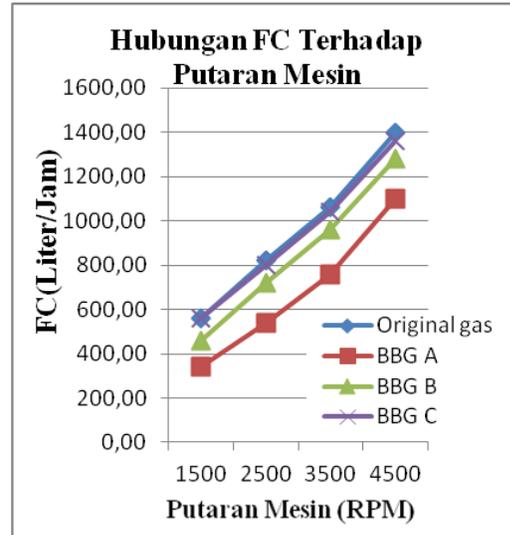
Torsi dan daya efektif memiliki hubungan yang sangat erat, dimana besarnya nilai torsi akan mempengaruhi besarnya nilai daya efektif, artinya untuk nilai daya efektif secara umum jenis bahan bakar A memiliki nilai paling tinggi dikarenakan bahan bakar gas tersebut menghasilkan nilai torsi yang paling besar.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 3. Hubungan daya efektif terhadap putaran mesin

### Pengaruh Jenis Bahan Bakar Gas Terhadap SFCe



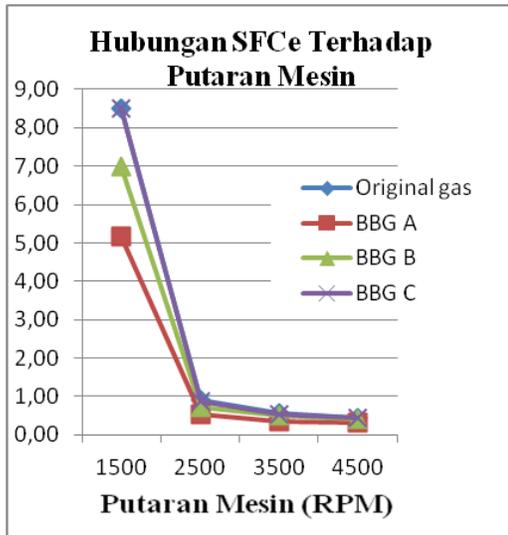
Gambar 4. Hubungan FC terhadap putaran mesin

Dari gambar diatas, seiring meningkatnya putaran mesin (dari 1500 – 4500 rpm) menyebabkan semakin meningkatnya jumlah bahan bakar yang dikonsumsi hal ini dikarenakan untuk menghasilkan putaran mesin yang lebih tinggi dibutuhkan suplai bahan bakar yang lebih banyak.

Berdasarkan gambar diatas, nilai konsumsi bahan bakar paling rendah diperlihatkan pada jenis bahan bakar gas A diikuti dengan bahan bakar gas B, C dan original gas. Hal ini dikarenakan, pada jenis bahan bakar gas A memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan jenis bahan bakar gas lainnya seperti yang dijelaskan pada pembahasan gambar 4.

Hal ini senada dengan yang diungkapkan oleh Turnip, 2009 pada laporan Agrariksa F.A 2013 yang menyatakan bahwa, konsumsi bahan bakar erat hubungannya dengan nilai kalor bahan bakar. Semakin besar nilai kalor bahan bakar, maka nilai konsumsi bahan bakar semakin kecil.

Dengan adanya nilai konsumsi bahan bakar maka dapat kita menentukan nilai konsumsi bahan bakar efektif atau specific fuel consumption effective (SFCe). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Hubungan SFCe terhadap putaran mesin

SFCe merupakan nilai yang memperlihatkan jumlah konsumsi bahan bakar yang mampu menghasilkan satu daya dalam sekian waktu. Semakin besar nilai SFCe maka semakin rendah kualitas penerapan bahan bakar tersebut pada mesin (semakin boros), begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai SFCe maka akan semakin tinggi kualitas penerapan bahan bakar tersebut pada mesin (semakin irit).

Pada nilai SFCe dapat dijadikan sebagai parameter penilaian terhadap tingkat keefektifan penggunaan bahan bakar tersebut. Untuk sesama bahan bakar gas, pada jenis bahan bakar A memiliki nilai SFCe paling rendah sebesar 0,33 Liter/Watt.Jam jika dibandingkan dengan jenis bahan bakar original gas sebesar 0,45 Liter/Watt.Jam, bahan bakar gas B sebesar 0,41 dan bahan bakar gas C sebesar 0,43 Liter/Watt.Jam pada masing-masing putaran 4500 rpm. Hal ini dikarenakan pada bahan bakar gas A mampu menghasilkan nilai konsumsi bahan bakar paling rendah dengan daya yang lebih besar. Tentunya akan diperoleh nilai SFCe paling rendah.

Berdasarkan penjelasan diatas dapat ditarik kepastian bahwa, penggunaan bahan bakar gas A paling efektif diterapkan pada mesin.

#### KESIMPULAN

a Biogas dari campuran kotoran kuda dan sampah rumah tangga dengan variasi laju aliran pemurnian dapat berpengaruh penerapannya terhadap unjuk kerja pada mesin tipe Astrea Grand 100 CC.

- b Penerapan biogas campuran kotoran kuda dan sampah rumah tangga pada mesin Astrea Grand 100 CC dengan laju aliran pemurnian 2 liter/menit memiliki tingkat keefektifan paling tinggi pada mesin, jika dibandingkan dengan laju aliran pemurnian 6 liter/menit dan 10 liter/menit dikarenakan bahan bakar biogas dengan laju aliran 2 liter/menit memiliki kandungan gas metana paling tinggi sehingga secara langsung berdampak terhadap nilai kalor.
- c Penerapan biogas campuran kotoran kuda dan sampah rumah tangga pada mesin tipe Astrea Grand 100 CC yang diperoleh dengan laju aliran pemurnian 2 liter/menit mampu menghasilkan torsi sebesar 6,98 N.m, daya sebesar 3288,09 Watt, dan SFCe sebesar 0,33 Liter/Watt.Jam pada putaran mesin 4500 rpm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agrariksa F.A., Susilo B., Nugroho W.A., 2013, Uji performansi motor bakar bensin (on chasis) menggunakan campuran premium dan etanol, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.
- Anonim 1, 2009, Biogas. From <http://id.wikipedia.org/Biogas>.
- Anonim 2, 2001, Buku Petunjuk Praktikum Motor Bakar, Malang; Jurusan Teknik Mesin FT- Universitas Brawijaya.
- Artayana K.C.B, 2014, Pengaruh variasi konverter biogas terhadap unjuk kerja pada mesin genset berkapasitas 1200 Watt, Denpasar, Tesis, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- Arismunandar W., 1998, Motor bakar torak, Bandung, ITB Bandung.
- Graha D.S., 1987, Batuan dan mineral, NOVA, Bandung, tersedia di <http://doddysetiagraha.blogspot.com/2012/06/batuapung-oleh-doddy-setiagraha.html>.
- Harasmowicz M., Orluk P., Zakrzewska-Trznadel G., Chemielewski A.G., 2007, Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment, Journal of Hazardous Materials, vol. 144, 698 –702.
- Heywood J.B., 1988, Internal Combustion Engine Fundamental, Mc Graw-Hill Book Company Inc., Singapore.
- Kristanto P., Willyanto, Wahyudi D., 2001, Pengaruh perubahan pemajuan waktu penyalaan terhadap motor dual fuel

- (bensin-BBG), Jurnal Teknik Mesin, Vol. 3, No. 2, Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra.
- Ma'bud, Towilan, 2013, Pengaruh Ignition Timing Dengan Bahan Bakar LPG Terhadap Unjuk Kerja Mesin Bensin Empat Langkah Satu Silinder, Skripsi, Fakultas teknik, Universitas Mataram, Mataram.
- Pamungkas A.B.C., 2012, Optimalisasi pemanfaatan biogas termurnikan untuk bahan bakar sepeda motor melalui absorber NaOH, Skripsi, Fakultas teknik, Universitas Mataram, Mataram.
- Purnomo J., 2009, Rancang bangun pembangkit listrik tenaga biogas, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Supriadi R.A., Fasha L.R., Sriwidani N.W., 2010, Makalah bahan galian batu apung (*pumice*), tersedia di <http://www.scribd.com/doc/33920004/Batu-Apung>.