

Performansi mesin otto yang menggunakan bahan bakar biogas dari limbah cair sawit

Jaya Arjuna^{1)*}, Tulus Burhanuddin Sitorus²⁾, Mulfi Hazwi³⁾, Agustinus Sitio⁴⁾

^{1,2,3,4)}Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, Kampus USU Medan

Abstrak

Pemanfaatan biogas merupakan salah satu pengembangan bahan bakar alternatif sebagai substitusi bahan bakar fosil yang cadangannya semakin berkurang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari mesin genset otto stasioner yang menggunakan bahan bakar biogas dari limbah cair kelapa sawit (POME). Pengujian dilakukan dengan melakukan variasi terhadap beban mesin berupa bola lampu. Modifikasi dilakukan terhadap komponen karburator agar mesin otto yang diuji dapat menggunakan bahan bakar biogas. Dari hasil pengujian dan perhitungan diperoleh bahwa terdapat penurunan daya dan efisiensi termal serta peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik saat mesin menggunakan bahan bakar biogas berkisar 7% - 9%. Namun untuk emisi gas buang yang dihasilkan terjadi pengurangan kadar CO yang cukup signifikan saat mesin otto menggunakan bahan bakar biogas POME.

Kata kunci: biogas dari POME, kinerja mesin

Abstract

The utilization of biogas is one of the development of alternative fuels as a substitute for fossil fuel which reserves dwindling. This study aims to determine the performance of the stationary otto engine by using biogas from palm oil mill effluent (POME). The experiments were carried out with the variation of the load on the engine in the form of a light bulb. Modifications was made to the carburateur component so that the otto engines can use biogas fuel. From the data experiments show that there was a drop in power and thermal efficiency as well as increased specific fuel consumption when the otto engine using biogas fuel ranges 7% - 9%. However, there was CO emission reduction significantly when otto engine using POME biogas fuel.

Keywords: biogas from POME, engine performance

1. Pendahuluan

Selama dekade terakhir ini terdapat kekhawatiran mengenai efek pemanasan global (*global warming*) serta kesadaran terhadap berkurangnya cadangan bahan bakar fosil yang mendorong berkembangnya riset ilmiah sebagai solusi inovatif dibidang energi terbarukan [1, 2]. Salah satu solusi inovatif tersebut adalah pemanfaatan bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar fosil yaitu biogas dari limbah cair kelapa sawit (*palm oil mill effluent*). Perlu diketahui bahwa khusus untuk bahan bakar biogas maka negara Indonesia memiliki bahan baku yang berlimpah untuk menghasilkan biogas untuk kapasitas yang besar. Dari data kementerian ESDM diketahui luas kebun sawit Indonesia berkisar 13,5 juta hektar dan untuk setiap proses produksi buah sawit yang menghasilkan satu ton CPO maka akan dihasilkan sekitar lima ton POME yang masih mengandung banyak zat-zat organik [3]. Seperti diketahui bahwa peralatan yang banyak menggunakan bahan bakar hidrokarbon adalah motor bakar. Motor bakar umumnya mendominasi banyak sektor seperti transportasi, pertanian dan pembangkit tenaga. Bahan bakar hidrokarbon seperti minyak premium dan minyak solar yang digunakan pada mesin pembakaran dalam umumnya menghasilkan emisi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x) dan partikulat yang sangat mencemari lingkungan. Sedangkan bahan bakar gas

cenderung menghasilkan polusi emisi gas buang yang cukup rendah baik bila digunakan untuk mesin otto maupun mesin diesel [4]. Seperti diketahui bahwa komponen utama penyusun biogas adalah methana (CH₄), karbondioksida (CO₂) dan beberapa unsur lainnya seperti hidrogen (H₂), nitrogen (N₂) dan uap air (H₂O)[5,6]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari mesin genset otto satu silinder saat menggunakan bahan bakar biogas dari POME dengan melakukan variasi beban mesin.

2. Studi Literatur

2.1 Palm Oil Mill Effluent (POME)

Limbah cair kelapa sawit atau POME (*palm oil mill effluent*) merupakan kondensat dari proses sterilisasi cairan yang berasal dari pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah (*crude palm oil*). Sifat dari POME adalah mengandung senyawa organik dan bersifat tidak beracun. Pada kolam penampungan limbah, POME umumnya masih memiliki temperatur yang cukup tinggi dengan warna kecokelatan. POME mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan *biological oxygen demand* (BOD) yang tinggi. Karakteristik limbah berdasarkan sifat fisik meliputi temperatur, kekeruhan, bau dan rasa sedangkan berdasarkan sifat kimia meliputi kandungan bahan organik, protein, BOD serta *Chemical Oxygen Demand* (COD). Dan berdasarkan sifat biologi dapat meliputi kandungan

*Korespondensi: Tel./Fax.: 085276803648/-

E-mail: jayaarjuna2003@yahoo.com

©Teknik Mesin Universitas Udayana 2017

bakteri patogen dalam air limbah [7]. Secara umum karakteristik dari POME yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair kelapa sawit [8]

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1	BOD (Biological Oxygen Demand)	mg/l	20.000-30.000
2	COD (Chemical Oxygen Demand)	mg/l	40.000-60.000
3	TSS (Total Suspended Solid)	mg/l	15.000-40.000
4	TS (Total Solid)	mg/l	30.000-70.000
5	Minyak dan Lemak	mg/l	5000-7000
6	NH ₃ -N	mg/l	30-40
7	Total N	mg/l	500-800
8	Temperatur	°C	90 - 140
9	pH	-	4-5

Untuk dapat digunakan menjadi bahan bakar gas maka limbah cair kelapa sawit harus diproses khusus. Pada umumnya biomassa dapat dikonversi menjadi bahan bakar gas, cair dan padat dengan menerapkan teknologi seperti proses *anaerobic digestion* dan gasifikasi, pirolisis dan karbonisasi [9,10,11,12]. Proses pembusukan biomassa ini akan menghasilkan biogas dengan kandungan utama gas metana berkisar 60%. Munculnya gas metana ini sebagai akibat dari proses perombakan senyawa-senyawa organik secara anaerobik.

2.2. Parameter Motor Bakar

Kinerja dari motor diesel secara khusus ditunjukkan oleh nilai dari parameter-parameter mesin tersebut. Beberapa dari parameter tersebut dapat diuraikan seperti berikut [13].

2.2.1 Torsi

Torsi merupakan parameter indikator yang cukup baik untuk mengetahui kemampuan mesin dalam melakukan suatu usaha. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak tertentu dimana nilai torsi suatu mesin dapat diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan alat *torque meter*.

2.2.2 Daya Mesin

Pada motor bakar umumnya dikenal ada dua jenis yaitu daya poros dan daya indikator. Daya tersebut dipengaruhi oleh putaran mesin dan torsi yang dihasilkan mesin. Namun yang digunakan dalam praktek di lapangan adalah daya poros. Daya poros atau daya efektif merupakan daya yang dihasilkan suatu mesin pada poros keluarannya atau biasa dikenal dengan *brake horse power* yang dihitung dengan persamaan :

$$\dot{W} = \frac{2\pi \times N \times \tau}{60000} \quad \text{kW} \quad (1)$$

dimana N adalah putaran mesin (rpm) dan τ adalah torsi mesin (Nm).

2.2.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi persatuan unit daya yang dihasilkan per jam operasi. Secara tidak langsung konsumsi bahan bakar spesifik merupakan indikasi efisiensi mesin dalam menghasilkan daya dari pembakaran bahan bakar. Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}} \times 3600000 \quad \text{gr/kWh} \quad (2)$$

dimana \dot{m}_f adalah laju aliran massa bahan bakar (kg/s).

2.2.4 Efisiensi Termal

Efisiensi termal suatu mesin didefinisikan sebagai rasio antara energi keluaran dengan energi kimia yang masuk yang dikandung bahan bakar dalam bentuk bahan bakar yang dihisap ke dalam ruang bakar. Efisiensi termal didefinisikan sebagai:

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f \times Q_{HV} \times \eta_c} \quad (3)$$

dimana Q_{HV} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg) dan η_c adalah efisiensi pembakaran yang bernilai 0,97.

3 Metodologi Penelitian

3.1 Bahan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan bahan bakar premium dan biogas dari POME. Sedangkan untuk beban mesin digantikan oleh lima buah bola lampu yang masing-masing memiliki beban 100 watt.

3.2 Peralatan Utama

Alat utama yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Mesin genset otto stasioner satu silinder tipe GFH1900LX.
2. *Calorimeter bomb* untuk mengetahui nilai kalor bahan bakar premium
3. Alat uji emisi Sukyong SY-GA 401 untuk mengukur komposisi emisi gas buang yang meliputi kadar CO, CO₂, HC, dan O₂.



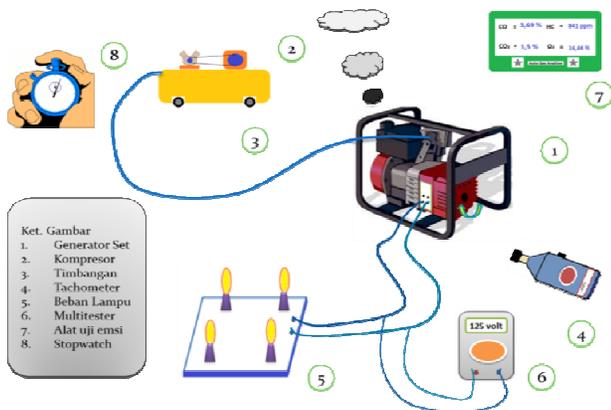
Gambar 1. a) *Calorimeter bomb* b) Alat uji emisi Sukyong SY-GA 401

Tabel 2. Spesifikasi utama mesin genset otto yang digunakan [14]

Tipe	GFH1900LX
Kapasitas	900 watts / 220V / 50Hz
Arus DC	12V / 8.3A
Daya maksimum (<i>peak power</i>)	1,3 KW
Faktor daya	1
Sistem pendingin	3.0 Hp <i>air cooled</i> OHV/ 3600 rpm
Diameter silinder (<i>bore</i>)	55 mm
Panjang langkah (<i>stroke</i>)	40 mm
Rasio kompresi	10,5 : 1
Jumlah silinder	1
Dimensi / berat	370 x 400 x 460 mm / 26 kg

3.3. Skema Eksperimental

Mesin genset otto stasioner empat langkah yang terdapat di laboratorium motor bakar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU dipersiapkan dan dihubungkan dengan alat ukur dan alat pendukung seperti tampak pada gambar 2. Agar mesin genset otto dapat menggunakan bahan bakar biogas POME maka dilakukan modifikasi pada komponen karburator seperti pada gambar 3.



Gambar 2. Skema eksperimental



Gambar 3. Modifikasi pada karburator

Sebelum dilakukan pengujian maka dilakukan pemanasan pada mesin otto berkisar 5 - 10 menit yang bertujuan untuk menstabilkan kondisi mesin. Alat ukur emisi gas buang ditempatkan pada bagian knalpot. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu premium dan biogas dari POME. Disamping itu juga dilakukan

variasi beban mesin untuk mengetahui kinerja yang optimum.

4 Hasil dan Pembahasan

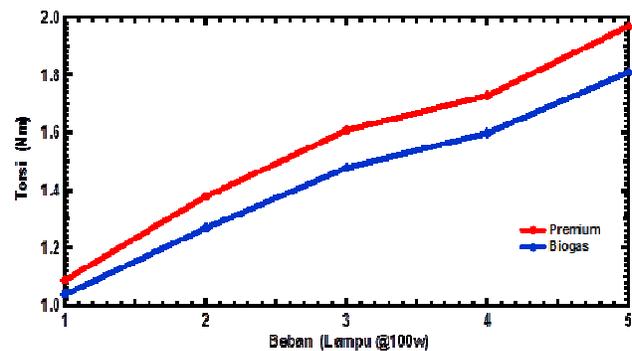
4.1 Nilai Kalor Bahan Bakar

Pengujian nilai kalor bahan bakar premium dilakukan dengan membuat sebanyak lima kali pengujian. Hasil uji kelima sampel tersebut selanjutnya dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai kalor rata-rata. Berdasarkan data pengujian dengan menggunakan peralatan *calorimeter bomb* diperoleh bahwa nilai kalor bahan bakar premium yang digunakan berkisar 43964 kJ/kg. Sedangkan untuk nilai kalor bahan bakar biogas dari POME diperoleh sebesar 35900 kJ/kg [3]. Perlu diketahui bahwa nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi yang dihasilkan pada saat proses pembakaran bahan bakar per satuan massanya dimana nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi penyusun bahan bakar tersebut.

4.2 Pengujian Kinerja Mesin

4.2.1 Torsi

Torsi maksimum yang diperoleh pada pengujian ini sebesar 1,97 Nm yang terjadi pada saat mesin beroperasi pada putaran mesin 4469,23 rpm dan beban 5 buah lampu dengan menggunakan bahan bakar premium seperti tampak pada gambar 4.



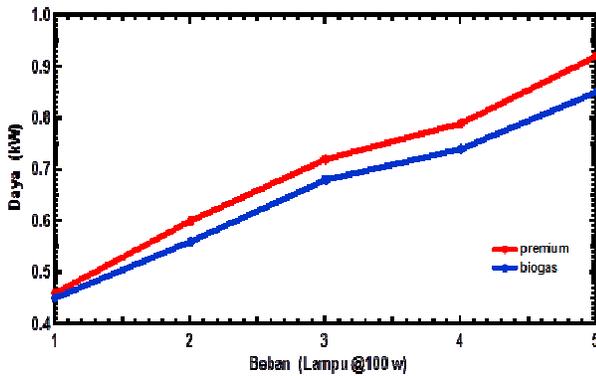
Gambar 4. Torsi mesin untuk beban yang bervariasi

Dan torsi minimum diperoleh 1,04 Nm dengan pemakaian bahan bakar biogas untuk beban satu lampu pada putaran mesin 4102,47 rpm. Torsi yang dihasilkan saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME lebih rendah disebabkan parameter torsi dipengaruhi oleh energi hasil pembakaran bahan bakar. Dan energi hasil pembakaran bahan bakar dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar.

4.2.2 Daya

Gambar 5 menampilkan daya hasil pengujian untuk bahan bakar premium dan biogas. Berdasarkan data pengujian dan perhitungan diperoleh bahwa daya maksimum diperoleh sebesar 0,92 kW pada saat mesin beroperasi pada putaran mesin 4469,23 rpm dan beban 5 buah lampu dengan menggunakan bahan bakar premium. Dan untuk daya minimum diperoleh 0,45 kW dengan bahan bakar biogas POME untuk beban satu buah lampu dengan putaran mesin 4102,47 rpm. Penurunan daya poros rata-rata saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME

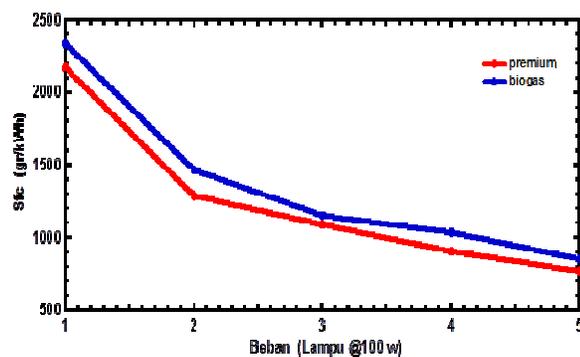
berkisar 7,21%. Parameter yang paling berpengaruh terhadap daya poros yang dihasilkan oleh mesin adalah torsi. Seperti diketahui bahwa bila torsi mesin semakin besar maka daya poros yang dihasilkan juga semakin besar dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 5. Daya mesin untuk beban yang bervariasi

4.2.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc)

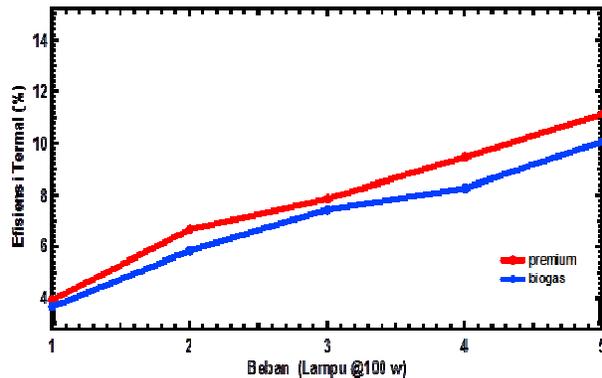
Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar 6 diperoleh nilai sfc maksimum sebesar 2336,70 gr/kWh saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME untuk putaran mesin 4102,47 rpm serta beban satu buah lampu. Sedangkan nilai sfc minimum diperoleh 769,62 gr/kWh dengan putaran mesin 4469,23 rpm serta bahan bakar yang digunakan premium untuk beban 5 buah lampu. Konsumsi bahan bakar spesifik rata-rata yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan adalah 1307,66 gr/kWh. Peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME berkisar 9,34%. Dapat dikatakan bahwa secara umum konsumsi bahan bakar spesifik saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME mengalami peningkatan. Salah satunya disebabkan oleh nilai kalor biogas POME yang lebih rendah dibandingkan dengan premium. Hal ini membuat bahan bakar yang dibutuhkan menjadi lebih banyak dibandingkan bila mesin menggunakan bahan bakar premium untuk kondisi pengujian yang sama.



Gambar 6. Konsumsi bahan bakar spesifik untuk beban yang bervariasi

4.2.4 Efisiensi Termal

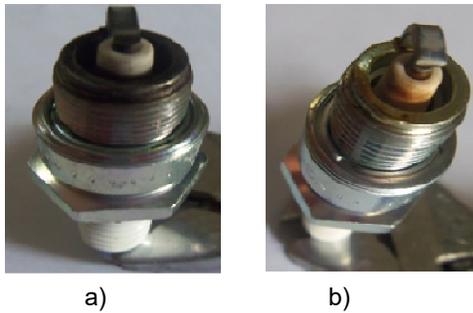
Gambar 7 menampilkan efisiensi termal yang diperoleh saat mesin menggunakan bahan bakar premium dan biogas POME. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai efisiensi termal maksimum sebesar 11,17% saat mesin menggunakan bahan bakar premium untuk putaran mesin 4469,23 rpm serta beban 5 buah lampu. Nilai efisiensi termal minimum diperoleh 3,68% dengan putaran mesin 4102,47 rpm serta bahan bakar yang digunakan biogas POME untuk beban satu buah lampu. Besarnya nilai efisiensi termal rata-rata yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan adalah 7,45%. Besarnya penurunan efisiensi termal rata-rata bila mesin uji menggunakan bahan bakar biogas adalah berkisar 9,38%. Perlu diketahui bahwa efisiensi termal dari motor bakar dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti daya poros mesin, laju aliran bahan bakar ke ruang bakar dan nilai kalor bahan bakar yang digunakan. Ketiga parameter tersebut secara simultan mempengaruhi pencapaian efisiensi termal suatu mesin.



Gambar 7. Efisiensi termal untuk beban yang bervariasi

4.2.5 Kondisi Pembakaran dan Emisi Gas Buang

Pada pengujian ini juga diteliti efek kondisi pembakaran terhadap busi dan komposisi emisi gas buang yang dihasilkan mesin uji. Untuk mengetahui proses pembakaran di dalam ruang bakar, salah satunya dapat ditinjau dari kondisi busi setelah digunakan. Warna elektroda pada busi dapat menunjukkan baik atau tidaknya proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Tampak pada gambar 8 bahwa elektroda busi selama pengujian saat menggunakan bahan bakar premium cenderung lebih kehitaman dibandingkan saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME.



Gambar 8. Kondisi busi yang digunakan
a) Premium b) Biogas POME

Tabel 3. Data hasil pengukuran emisi gas buang untuk pengujian premium

Beban jumlah lampu	Bahan bakar premium			
	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
1	3.67	839	1.48	14.62
2	4.20	441	1.60	13.35
3	4.42	324	1.68	13.48
4	4.45	281	1.76	12.91
5	4.82	206	1.83	12.73

Emisi gas buang yang diteliti meliputi kadar karbondioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan oksigen (O₂) yang terdapat pada hasil pembakaran bahan bakar yang keluar dari knalpot dengan menggunakan alat ukur emisi Sukeyong SY-GA 401. Tabel 3 dan 4 menampilkan data hasil pengukuran komposisi emisi gas buang saat mesin otto menggunakan bahan bakar premium dan biogas POME.

Tabel 4. Data hasil pengukuran emisi gas buang untuk pengujian biogas POME

Beban jumlah lampu	Bahan bakar biogas			
	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
1	0.06	1266	5.68	12.63
2	0.09	644	5.68	11.87
3	0.12	598	7.38	9.43
4	0.12	353	8.18	8.92
5	0.14	322	7.78	7.88

Seperti diketahui bahwa emisi karbon monoksida timbul karena pada saat proses pembakaran terjadi kekurangan oksigen. Kurangnya pasokan oksigen menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna dimana atom C kekurangan O₂ untuk membentuk CO₂. Dari tabel 4 tampak bahwa penggunaan bahan bakar premium menghasilkan CO yang paling banyak di setiap beban daya lampu. Hal ini disebabkan bahan bakar premium terdiri dari hidrokarbon gugus atom C₇ (heptana) sampai C₁₁ yang memiliki atom C lebih

banyak dibandingkan biogas yang terdiri dari metana atau hidrokarbon gugus C₁. Pengurangan emisi kadar CO saat pemakaian bahan bakar biogas POME cukup signifikan dimana terjadi pengurangan berkisar 97% bila dibandingkan pemakaian bahan bakar premium. Emisi gas buang HC juga terjadi akibat kekurangan oksigen sehingga proses pembakaran berlangsung secara tidak sempurna karena banyak atom karbon yang tidak mendapatkan cukup oksigen sehingga membentuk gas HC. Hasil pembacaan alat ukur emisi dengan variasi pembebanan jumlah lampu pada tiap jenis bahan bakar maka diperoleh kadar HC minimum terjadi saat menggunakan bahan bakar premium untuk beban lima lampu sebesar 208 ppm. Dan kadar HC maksimum diperoleh saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME untuk beban satu lampu sebesar 1266 ppm.

5 Simpulan

Dari data pengujian, pengukuran dan perhitungan yang dilakukan telah diperoleh kinerja dari mesin genset otto saat diuji dengan menggunakan bahan bakar biogas yang berasal dari POME. Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan:

1. Hasil penelitian menunjukkan terjadi penurunan daya, kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik dan penurunan efisiensi termal berkisar 7% - 9% saat mesin menggunakan bahan bakar biogas POME.
2. Adanya perbedaan performansi yang dihasilkan, salah satu disebabkan oleh energi pembakaran yang dihasilkan oleh bahan bakar yang digunakan.
3. Berdasarkan data pengukuran emisi gas buang maka terjadi pengurangan kadar CO saat pemakaian bahan bakar biogas POME yang cukup signifikan yaitu berkisar 97% bila dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar premium.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Riset Pendidikan Tinggi dan Lembaga Penelitian Universitas Sumatera Utara yang telah membiayai kegiatan ini melalui penelitian Hibah Bersaing untuk tahun anggaran 2016.

Daftar Pustaka

- [1] Linda Barelli, Gianni Bidini, Stefano Campanari, Gabriele Discepoli, Maurizio Spinelli, *Performance assessment of natural gas and biogas fueled molten carbonate fuel cells in carbon capture configuration.*, Journal of Power Sources, 320, pp. 332-342, 2016
- [2] H.K. Imdadul, *Higher alcohol-biodiesel-diesel blends: An approach for improving the performance, emission, and combustion of a light-duty diesel engine*, Energy Conversion and Management, 111, pp.174-185, 2016.
- [3] Kementerian ESDM Republik Indonesia, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, *Buku Informasi Energi-ESDM untuk Kesejahteraan Rakyat*, 2015.
- [4] E. Porpatham, A. Ramesh, B. Nagalingam, *Effect of compression ratio on the performance and*

combustion of a biogas fuelled spark ignition engine, Fuel 95, pp. 247-256, 2012.

- [5] Quetzalli Aguilar-Virgen, Paul Taboada-González, Sara Ojeda-Benítez, Samantha Cruz-Sotelo, *Power generation with biogas from municipal solid waste: Prediction of gas generation with in situ parameters*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 30, pp. 412-419, 2014.
- [6] Karapidakis ES, Tsavé AA, Soupios PM, Katsigiannis YA., *Energy efficiency and environmental impact of biogas utilization in landfills*. Int J Environ Sci Technol, 7, pp.599-608, 2010.
- [7] Siregar, Parpen, *Produksi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit dengan Digester Anaerob*, 2009.
- [8] Yoshimasa, Tomiuchi, *Methane Fermenter*, Fuji Electric Co, Ltd., 2008.
- [9] KunLi, Ronghou Liu, ChenSun, *A review of methane production from agricultural residues in China*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 54, pp. 857-865, 2016.
- [10] J. Arroyo, F. Moreno, M. Muñoz, C. Monné, *Experimental study of ignition timing and supercharging effects on a gasoline engine fueled with synthetic gases extracted from biogas*, Energy Conversion and Management 97, pp.196-211, 2015.
- [11] Balmant W, Oliveira BH, Mitchell DA, Vargas JVC, Ordonez JC., *Optimal operating condition for maximum biogas production in anaerobic bioreactors*. Appl Therm Eng, 62, pp.197-206, 2014.
- [12] Ivan Felipe Silva dos Santos, Regina Mambeli Barros, Geraldo Lucio Tiago Filho, *Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential*, Journal of Cleaner Production 126, pp. 504-514, 2016.
- [13] Willard W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine*, University of Wisconsin, Prentice Hall New Jersey, 2004.
- [14] Manual Book of Generator Set Type GFH1900LX, 2015.



Jaya Arjuna menyelesaikan studi S1 di Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara pada tahun 1983, kemudian menyelesaikan program master di Fakultas Sains dan Alam Sekitar Universiti Putra Malaysia pada tahun 1997. Bidang penelitian yang diminati adalah masalah Industri Akrab Lingkungan dan juga Dampak Kegiatan Industri terhadap Lingkungan, khususnya Industri Kelapa Sawit



Tulus Burhanuddin Sitorus menyelesaikan studi S1 di Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, pada tahun 1997, kemudian menyelesaikan program magister teknik di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung pada tahun 2001. Dan saat ini sedang mengikuti program doktor di Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara. Bidang penelitian yang diminati adalah teknik pendingin, motor bakar serta beberapa topik yang berkaitan dengan termodinamika teknik.