

Analisa Performance Bahan Bakar Biogas dan Bensin Terhadap Kualitas Pembakaran pada Engine Genset 4 Tak 1 Silinder Kapasitas 80 cc

Performance Analysis of Biogas and Gasoline Fuels on the Quality of Combustion in a 4 Stroke 1 Cylinder Generator Engine with a Capacity of 80 cc

Ilmi Abdullah¹, Bagus Giri Yudanto², dan Arjanggal Nasution² Rendi Andiko^{3*}

¹Prodi Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

²Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia

³Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Medan, Jln. Gedung Arca No. 52 Medan

*Corresponding author: rendiandiko_xiitoi@yahoo.co.id

Diterima: 03-08-2022

Disetujui: 13-08-2022

Dipublikasikan: 15-08-2022

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Penelitian ini mempelajari analisa performance bahan bakar biogas terhadap emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin generator set dan sebagai operasional genset berbahan bakar bensin menjadi berbahan bakar biogas perlu dilakukan modifikasi pada bagian karburator. Dalam reaksi pembakaran sempurna terdapat gas penghambat seperti karbon dioksida, gas pengotor seperti hidrogen sulfida, gas yang dibutuhkan pembakaran seperti oksigen dan pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan gas monoksida. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan gas chromatographi pada pembebanan 0/tanpa beban, 300, 600, 900 Watt. Analisa yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi nilai kalor yang terjadi, reaksi pembakaran, daya, torsi, tekanan efektif rata-rata, pemakaian bahan bakar spesifik, dan thermal yang terjadi pada genset. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan lebih efisien menggunakan biogas hasil purifikasi untuk emisi gas buang CO₂ terendah sebesar 9,1089 %, untuk O₂ sebesar 16,7165 % tetapi dari segi kualitas pembakaran bensin lebih baik digunakan daripada biogas sebesar 30381 kJ/kg disebabkan kandungan unsur karbon bensin lebih tinggi.

Kata Kunci: Emisi Gas Buang, Biogas, Genset, dan Purifikasi.

Abstract

This research studies the analysis of the performance of biogas fuel on exhaust gas emissions produced by the engine generator set and as an operational generator from gasoline-fueled to biogas fuel, modifications to the carburetor are necessary. In a complete combustion reaction there are inhibitory gases such as carbon dioxide, impurity gases such as hydrogen sulfide, and gases required for combustion such as oxygen, and incomplete combustion will produce monoxide gas. This test was carried out using gas chromatography at 0/no load, 300, 600, 900 Watt loading. The analysis carried out in this study includes the calorific value that occurs, the combustion reaction, power, torque, average adequate pressure, specific fuel consumption, and thermal events that occur in the generator. Based on the results of research conducted, it is more efficient to use purified biogas for the lowest CO₂ emissions of 9.1089%, for O₂ of 16.7165%. Based on the results of research conducted it is more efficient to use purified biogas for the lowest CO₂ exhaust emissions of 9.1089%, for O₂ of 16.7165% but in terms of combustion quality, the use of gasoline is better than biogas of 30381 kJ/kg due to the element content higher carbon gasoline.

Keywords: Exhaust Emissions, Biogas, Generators, and Purification.

1. Pendahuluan

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan – bahan organik oleh mikro organisme pada kondisi tanpa oksigen (anaerob). Komponen biogas terdiri dari: $\pm 60\%$ CH₄ (metana), $\pm 38\%$ CO₂ (karbon dioksida), $\pm 2\%$ N₂ (Nitrogen), $\pm 2\%$ O₂ (Oksigen), $\pm 2\%$ H₂ (Hidrogen), dan $\pm 2\%$ H₂S (Hidrogen Sulfida). Biogas memiliki karakteristik seperti elpiji, dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik, sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan (Musarif dkk 2006).

Gas metan (CH₄) yang terkandung dalam biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi mempunyai sifat tidak berbau dan tidak berwarna. Jika gas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerobik ini dapat terbakar, berarti mengandung sedikitnya 45% gas metan. Untuk gas metan murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m³. Ketika dibakar 1ft³ gas bio menghasilkan sekitar 10 BTU (2,52 kkal) energi panas per persentase komposisi metan (Harahap 1978).

Bahan baku untuk memproduksi gas metan bisa berasal dari semua bahan organik, baik yang berwujud padat, maupun cair, kecuali bahan organik senyawa hidro karbon tinggi seperti plastik, karet, dan lilin (Wax). Bahan yang mudah dicerna banyak mengandung selulosa seperti jerami, padi, gandum, rumput-rumputan dan sebagainya. Sedangkan bahan yang banyak mengandung lignin (kayu) sukar untuk dicerna. dan bahan yang memiliki kadar air tinggi lebih mudah untuk dicerna (Sianturi 1990).

Masalah yang muncul ketika biogas baru diproduksi adalah komposisi biogas itu sendiri karena mengandung beberapa gas lain yang tidak menguntungkan. Untuk mendapatkan hasil pembakaran yang optimal perlu dilakukan proses pemurnian / penyaringan. Adapun beberapa gas yang tidak menguntungkan dalam biogas antara lain :

1. Gas Karbon dioksida (CO₂)

Gas CO₂ dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Selain itu, kandungan gas karbon dioksida (CO₂) dalam biogas cukup besar yaitu sekitar 30-45% sehingga nilai kalor pembakaran biogas akan berkurang cukup besar. Nilai kalor pembakaran gas metana murni pada tekanan 1 atm dan temperatur 15,5°C yaitu 8900-9100 Kkal/m³ (12.740 kkal/kg). Sedangkan nilai kalor pembakaran biogas yang tidak murni sekitar 4.800-6.900 Kkal/m³ (6.720-9660 kkal/kg) (Harasimowicz dkk 2007).

2. Gas Hidrogen Sulfida (H₂S)

Menurut Lastella dkk. (2002), konsentrasi gas ini dalam biogas relatif kecil $\pm 0,1-2\%$. Gas ini bersifat korosif sehingga konsentrasi yang besar dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada ruang pembakaran. Selain itu, gas ini mempunyai bau yang tidak sedap, bersifat racun dan hasil pembakarannya menghasilkan gas sulfur dioksida (SO₂).

Untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor cukup tinggi. Hal inilah yang menjadi dasar untuk mengembangkan penelitian tentang pemanfaatan kandungan metana (CH₄) pada biogas menjadi bahan bakar pengganti bensin pada generator set dan engine kendaraan.

Namun demikian, untuk bisa mengoptimalkan nilai kalor/panas yang terdapat dalam biogas sebelum dijadikan bahan bakar pengganti bensin pada engine, tentu kemurnian dari CH₄ itu sendiri perlu menjadi pertimbangan yang sangat penting, agar menghasilkan pembakaran yang sempurna dan menghasilkan emisi gas buang yang sedikit.

3. Karakteristik dari Gas Metana (CH₄)

Sifat fisika metana sebagai berikut :

- Berat molekul : 16,04 gram/mol
- Densitas : $7,2 \times 10^{-4}$ gram/ml (pada 1 atm dan 0°C)
- Titik didih : -161,4 °C
- Titik leleh : -182,6 °C (Perry 1997)
- Nilai kalor CH₄ : 13.279,302 kkal/kg (Fessenden 1989)
- Nilai kalor biogas : 6.720 – 9660 kkal/kg (Harasimowicz dkk 2007)
- dP : 3,8 °C (Wen-Hui Lin dkk 2001)
- Tc : 109,4 K (Pabby dkk 2009)

Reaksi pembakaran sempurna gas metana menghasilkan gas karbondioksida dan uap air.



Menurut GmbH (2006), motor bensin pembakaran dalam menggunakan siklus Otto. Sistem pengapian membakar campuran udara dan bahan bakar dan dalam prosesnya mengubah energi kimia pada bahan bakar menjadi energi kinetik. Hasil dari pembakaran menyebabkan piston menghasilkan gerakan bolak-balik (reciprocating) di dalam silinder, sedangkan batang piston mengubah gerakan bolak-balik pada piston menjadi gerak putar pada poros engkol yang kemudian diteruskan menuju roda gila. Kecepatan putar poros engkol disebut juga kecepatan mesin (engine speed) atau kecepatan putar mesin per menit (engine rpm).

Kemudian dari engine tersebut akan menghasilkan emisi gas buang, Emisi gas buang adalah zat pencemar yang dihasilkan dari proses pembakaran motor bensin. Zat pencemar dari hasil pembakaran atau uap bahan bakar bensin ini dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu CO (carbon monoxide), HC (hydrocarbon), dan Nox (nitrogen oxide). Tetapi ada pula zat pencemar yang berupa timah hitam (Pb), hal ini disebabkan karena bensin mengandung TEL (Tetraethyl Lead). Bila bensin terbakar, maka akan terjadi reaksi dengan oksigen membentuk CO₂ (carbon dioxide) dan H₂O (water). Emisi gas buang atau polutan yang paling sering terjadi adalah CO, HC, CO₂ dan O₂. Dua gas yang disebutkan terakhir bukan merupakan polutan tetapi terus dilihat karena menjadi indikator efisiensi pembakaran (Erjavec 2000).

Berdasarkan kepemilikan kendaraan bermotor di Indonesia menunjukkan angka yang terus meningkat, sehingga menimbulkan tiga persoalan yang sangat serius, yaitu kemacetan, meningkatnya konsumsi bahan bakar dan semakin parahnya tingkat pencemaran udara akibat dari emisi gas buang yang dihasilkan. Pencemaran ini menyebabkan terganggunya kehidupan manusia, hewan maupun tumbuhan (Prawoto 2000).

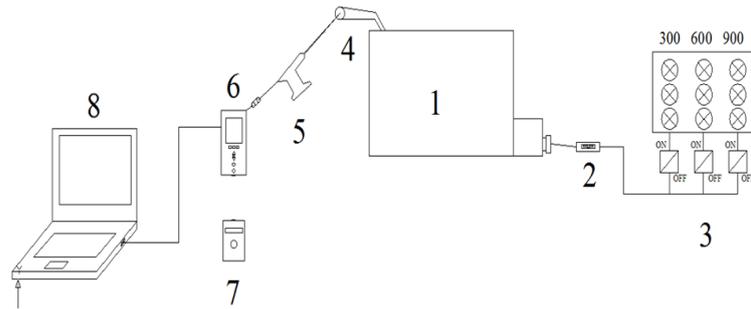
Besarnya angka persentase pencemaran udara dari sumber transportasi di Indonesia adalah 70,50% CO ; 8,89% NO_x ; 0,88% Sox ; 18,34% HC ; 1,33% Partikel (Wardhana 2001).

Dari permasalahan diatas perlu dicari solusi terbaik dengan cara meminimalisir emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan berbahan bakar fosil dengan beralihnya dari bahan bakar bensin menjadi bahan bakar biogas yang ramah lingkungan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bioproses dan Laboratorium Rekayasa Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan (RTPL) Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan dengan waktu kegiatan selama 6 bulan.

Bahan yang digunakan adalah biogas dan bensin dengan mengambil sampel biogas di Bukit Sentang dan Institut Teknologi Medan dan bensin di SPBU Pertamina. Skema pengujian seperti ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah pengerjaan analisa emisi gas buang

1. Engine Genset.
2. MCB (Miniature Circuit Breaker).
3. Variasi beban.
4. Knalpot / pembuangan gas buang.
5. Probe.
6. Gas analyzer.
7. Printer.
8. Laptop/PC.

Kemudian mencari nilai kalor yang terkandung dalam biogas dengan menentukan nilai kalor atas dan nilai kalor bawah, Nilai kalor atas disebut juga HHV (Higher Heating Value), yaitu kalor laten yang dihasilkan dari uap air yang dapat digunakan untuk memanaskan boiler berguna untuk kalor bawah. Nilai HHV dapat dicari melalui persamaan Dulong (Muin 1988) berikut :

$$HHV = 33,950 C + 144,200 [H_2 - (O_2/8)] + 9,400 S \quad (2)$$

dimana,

- HHV = Nilai kalor atas (higher heating value) (kJ/kg)
- C = kandungan karbon dalam bahan bakar (%)
- H₂ = kandungan hydrogen dalam bahan bakar (%)
- O₂ = kandungan oksigen dalam bahan bakar (%)
- S = kandungan sulfur dalam bahan bakar (%)

Setelah itu mencari nilai kalor bawah disebut juga NCV (Net Calorific Value), NHV (Net Heating Value) atau LHV (Lower Heating Value), yaitu kalor yang dihasilkan saat nilai kalor bahan bakar ditentukan, mengingat bahwa air sudah bercampur dengan unsur lain yang membentuk gas. Nilai LHV dapat dicari melalui persamaan Dulong (Muin 1988) berikut :

$$LHV = HHV - 2,400 (M + 9 H_2) \quad (3)$$

dimana,

- LHV = nilai kalor bawah (lower heating value) (kJ/kg)
- HHV = nilai kalor atas (higher heating value) (kJ/kg)
- M = kandungan air dalam bahan bakar (%)
- H₂ = kandungan hydrogen dalam bahan bakar (%)

Reaksi Pembakaran dengan rumus Stoikiometri, Daya, Torsi, Tekanan Efektif Rata-rata, Pemakaian Bahan Bakar Spesifik, dan Thermal yang terjadi pada engine genset.

Adapun jenis-jenis variabel yang di pilih dalam penelitian ini adalah seperti Tabel 1. dibawah ini :

Tabel 1. Variable Penelitian

Variabel	Sub Variabel	Indikator	Instrument
Tetap	Beban Genset Listrik	0 W	Amper Meter
		300 W	Amper Meter
		600 W	Amper Meter
		900 W	Amper Meter
Bebas	- Udara Pembakaran	Jumlah udara bakar	Flow Meter
	- Bahan Bakar Biogas	Jumlah biogas	Flow Meter
	- Kecepatan Motor	Putaran	Tacho Meter
Terikat	- Emisi Gas Buang	CO, CO ₂ , dan O ₂	Gas Analyser
	- Nilai Kalor	Biogas dan bensin	Bom Kalori Meter

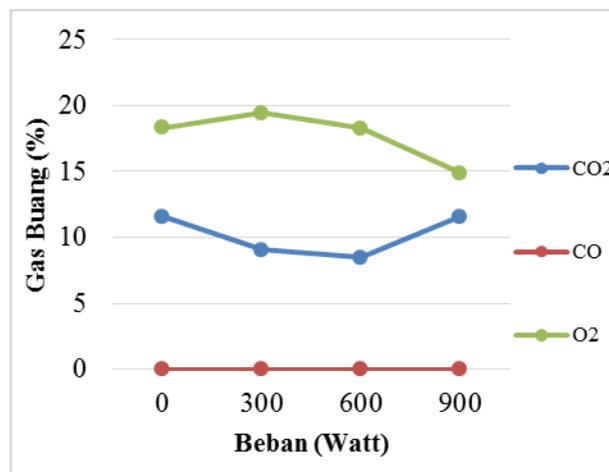
3. Hasil dan Pembahasan

Dari Tabel 2. Setelah dilakukan uji analisa biogas dengan gas chromatography terlihat bahwa kandungan biogas yang terdapat di Bukit Sentang menghasilkan CH₄ yang kurang sempurna hanya sebesar 29,6107 %, Sedangkan CO₂ lebih besar yaitu 61,8387 % sehingga akan menurunkan nilai kalor dari biogas tersebut.

Tabel 2. kandungan biogas di bukit sentang PPKS

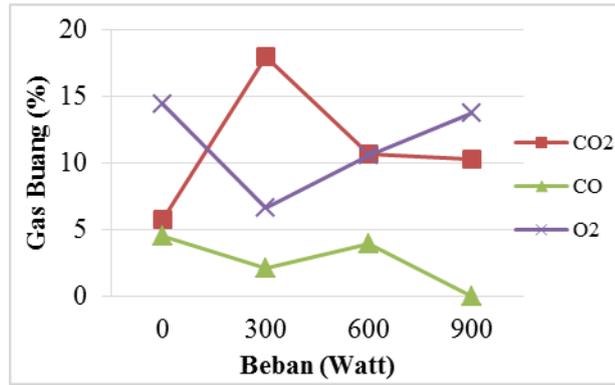
	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂ S
Persentase (%)	0	2,9465	3,2055	29,6107	0	61,8387	22,6025

Setelah didapatkan hasil biogas dari Bukit Sentang selanjutnya adalah analisa emisi gas buang dari masing-masing bahan bakar dengan memvariasikan beban 0/tanpa beban, 300, 600, 900 Watt. Percobaan dilakukan dengan menggunakan biogas sebelum purifikasi :



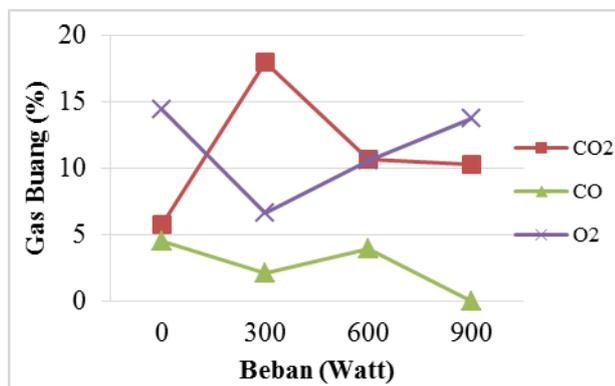
Gambar 2. Grafik Beban (Watt) vs Gas Buang (%)

Percobaan dilakukan dengan menggunakan bensin :



Gambar 3. Grafik Beban (Watt) vs Gas Buang (%)

Percobaan Dilakukan Dengan Menggunakan Bensin :



Gambar 4. Grafik Beban (Watt) vs Gas Buang (%)

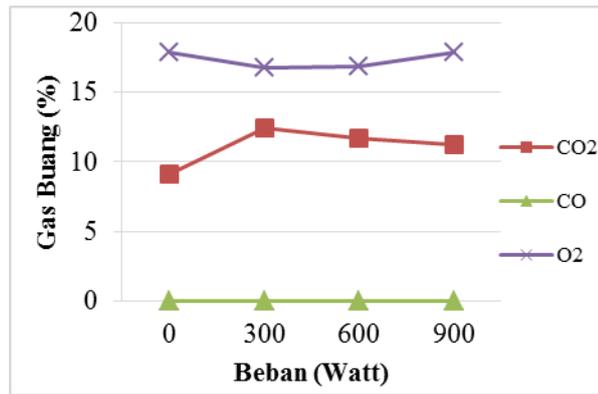
Berdasarkan dari hasil pra penelitian yang dilakukan penjerapan dengan menggunakan abu boiler dan cangkang kelapa sawit ternyata yang lebih efisien digunakan untuk engine adalah dengan menggunakan penjerap dari abu boiler, karena kandungan CH₄ yang cukup tinggi sebesar 40,7202 %, CO₂ yang turun sebesar 56,2798 % dan H₂S yang juga turun sangat drastis sebesar 0,8377 %, sehingga pada saat menghidupkan engine lebih mudah untuk melakukan start-up awal dibandingkan menggunakan cangkang kelapa sawit yang hanya menaikkan CH₄ sebesar 39,5755 %, CO₂ sebesar 54,2874 %, dan H₂S sebesar 1,0024 %.

Kandungan CO₂ dan O₂ harus sebanding pada saat proses pembakaran, apabila CO₂ rendah maka O₂ harus tinggi begitu pula sebaliknya CO₂ tinggi maka O₂ harus rendah agar proses pembakarannya sempurna. Kandungan CO₂ dan O₂ bukan merupakan polutan tetapi terus diperhatikan karena menjadi indikator dari efisiensi pembakaran (Erjavec 2000). Jadi kandungan CO₂ merupakan penghambat dari pembakaran sedangkan O₂ merupakan gas yang dibutuhkan pada saat pembakaran.

Sedangkan H₂S saat masuk keruang bakar memiliki konsentrasi gas dalam biogas relatif kecil ± 0,1–2 %. Karena Gas ini bersifat korosif sehingga konsentrasi yang besar dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada ruang pembakaran. Selain itu, gas ini mempunyai bau yang tidak sedap, bersifat racun dan hasil pembakarannya menghasilkan gas sulfur dioksida (SO₂), Menurut Lastella dkk. (2002).

Sehingga akan mempercepat usia dari engine tersebut, jadi Gas H₂S bukan merupakan penghambat pembakaran tetapi pengganggu pembakaran.

Percobaan dilakukan dengan menggunakan biogas hasil purifikasi :



Gambar 4. Grafik Beban (Watt) vs Gas Buang (%)

Perhitungan nilai kalor

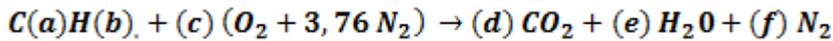
a. Nilai kalor atas :

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= 33,950 \text{ C} + 144,200 [\text{H}_2 - (\text{O}_2/8)] + 9,400 \text{ S} \\ &= 33,950 \times 22,208 + 144,200 [0,069 - (2,9465 / 8)] + 9,400 \times 21,272 \\ &= 910,757 \text{ (kJ/kg)} \end{aligned}$$

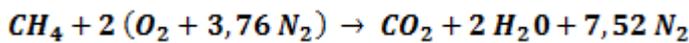
b. Nilai kalor bawah :

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - 2,4 (\text{M} + 9 \text{ H}_2) \\ &= 910,757 - 2,4 (0,627 + 9 \times 0,069) \\ &= 907,76 \text{ (kJ/kg)} \end{aligned}$$

Perhitungan reaksi pembakaran biogas dan bensin dengan rumus stoikiometri. Untuk menentukan kandungan gas methane sebesar = 29.6107 % dan gas oktana = 88 % dengan memisalkan perbandingan (bahan bakar/udara) = 100 gram.



untuk biogas :



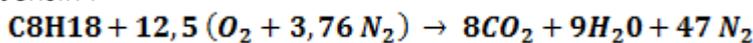
Total gas-gas hasil pembakaran :

$$59,2214 + 222,672 + 29.6107 + 59,2214 = 370,7255 \text{ gram}$$

Komposisi gas-gas hasil pembakaran :

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= \frac{29.6107}{370,7255} \times 100\% = 7,987 \% \\ \text{H}_2\text{O} &= \frac{59,2214}{370,7255} \times 100\% = 15,974 \% \\ \text{N}_2 &= \frac{222,672}{370,7255} \times 100\% = 60,06 \% \end{aligned}$$

untuk bensin :



Total gas-gas hasil pembakaran :

$$1100 + 4136 + 704 + 792 = 6732 \text{ gram}$$

Komposisi gas-gas hasil pembakaran :

$$\text{CO}_2 = \frac{704}{6732} \times 100\% = 10,457 \%$$

$$H_2O = \frac{792}{6732} \times 100\% = 11,764 \%$$

$$N_2 = \frac{4136}{6732} \times 100\% = 61,437 \%$$

Tabel 3. Analisa performance genset listrik

Bahan Bakar	Beban (Watt)	Putaran (Rpm)	Daya (Watt)	Torsi (N.m)	Tekanan efektif rata-rata (Pa)	SFC (g/kw.jam)	η_e (%)
Bensin	0	3150	7,34	0	0	47207,084	0,00241
	300	3130	4,83	0,9157	0,2402	76521,74	0,00158
	600	3110	4,73	1,8432	0,4835	83720,93	0,00155
	900	3090	2,22	2,7827	0,7299	215270,27	0,00073
Biogas Sebelum Purifikasi	0	2310	3,89	0	0	165,809	0,046
	300	1900	1,37	1,5085	0,3957	500,729	0,0153
	600	1630	2,14	3,5168	0,9225	377,103	0,0203
	900	1510	1,4	5,6945	1,4938	605	0,0127
Biogas Hasil Purifikasi	0	2300	6,14	0	0	144,625	0,053
	300	2120	3,67	1,352	0,3546	252,861	0,0303
	600	1910	1,52	3,001	0,7873	636,842	0,012
	900	1750	0,68	4,913	1,2889	1485,294	0,0052

Dari Tabel 3, hasil analisa perhitungan performance genset dari bahan bakar biogas dan bensin menunjukkan angka yang cukup signifikan untuk kedua bahan bakar tersebut ternyata bahan bakar yang lebih irit digunakan dengan bahan bakar biogas hasil purifikasi sebesar 144,625 g/kW.jam tetapi untuk daya dan tenaga yang dihasilkan masih lebih baik menggunakan bahan bakar bensin sebesar 7,34 Watt, dikarenakan unsur karbon yang dihasilkan biogas lebih kecil dari pada bensin dan putaran mesin juga lebih stabil ketika menggunakan bahan bakar bensin dibandingkan menggunakan bahan bakar biogas.

4. Kesimpulan

Bahan bakar dan udara harus berbanding lurus dalam melakukan proses pembakaran. Untuk bahan bakar biogas tidak banyak membutuhkan udara karena kandungan biogas dan udara sifatnya hampir sama, sedangkan untuk bahan bakar bensin lebih banyak membutuhkan udara karena sifat bensin dan udara berbeda, oleh karena itu campuran bahan bakar biogas dan bensin harus berbanding lurus dengan udara, tidak terlalu sedikit dan tidak terlalu banyak.

Dan untuk sifat dari Gas CO₂ adalah gas penghambat pembakaran karena gas ini tidak dapat terbakar, sedangkan gas O₂ adalah gas yang dibutuhkan pada saat proses pembakaran dan gas H₂S adalah gas pengganggu karena gas tersebut akan mempercepat usia dari engine dan apabila terbakar gas tersebut akan berubah menjadi gas sulfur dioksida (SO₂) yang sifatnya beracun.

Kemudian emisi gas buang CO₂, O₂, dan CO yang dihasilkan oleh mesin generator set berbahan bakar biogas sebelum dipurifikasi untuk gas CO₂ berkisar antara 8,4955 – 11,5862 %, gas O₂ berkisar antara 14.8990 – 19,4540 %, dan gas CO tidak ada, dikarenakan pembakaran sempurna artinya bahan bakar yang masuk dan udara yang masuk berbanding lurus. Sedangkan untuk berbahan bakar bensin gas CO₂ berkisar antara 5,7267 – 17,9545 %, gas O₂ berkisar antara 6,6316 – 14,3737 %, dan gas CO berkisar antara 0 - 4,5560 %. Dan untuk berbahan bakar biogas hasil purifikasi gas CO₂ berkisar antara 9,1089 – 12,4134 %, gas O₂ berkisar antara 16,7165 – 17,8469 %, dan gas CO tidak ada.

Daftar Pustaka

- GmbH, Robert B. 2006. Gasoline Engine Management, 3rd Edition, England: Wiley.
- Fessenden, Ralph J. and J. S. Fessenden. 1989. Kimia Organik Jilid 1, Edisi Ke-3, Jakarta Erlangga.
- Harahap, F.M. 1978. Teknologi Gas Bio, Pusat Teknologi Pembangunan ITB: Bandung
- Harasimowicz, M., P. Orluk, G. Zakrzewska-Trznadel and A.G. Chmielewski. 2007. "Application of Polyimide Membranes for Biogas Purification and Enrichment", Journal of Hazardous Materials.
- Lastella, G., C. Testa, G. Cornacchia, M. Notornicole, F. Voltasio and V. K. Sharma. 2002. "Anaerobic Digestion of Semi-Solid Organic Waste : biogas production and its purification." Energy Conversion and management.
- Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I : Ketel Uap*. Jakarta: Rajawali.
- Musanif, J., Wildan A.A., David M.N., 2006. Biogas skala Rumah Tangga. Jakarta: Departemen Pertanian.
- Pabby, Anil K, S. S. H. Rizvi and A. M. Sastre. 2009. Handbook of Membrane Separations Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Perry, R.H. and Green D.W. 1997. Chemical Engineer's Hand Book, 7th edition. New York: Mc. Graw Hill Book Co. Ltd
- Prawoto. 2000. "Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Pengaruhnya Terhadap Lingkungan." Jurnal Termodinamika dan Fluida.
- Wardhana, Wisnu A. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Widodo, TW, Anna N, A. Asari, Elita R dan Astu U. 2005. Pengembangan teknologi biogas untuk memenuhi kebutuhan energi dipedesaan.
- P Nugroho dan Cicik S. 2005. Proc. Seminar Nasional Bioenergi dan Mekanisasi Pertanian untuk Pembangunan Industri Pertanian. Bogor.