

## PENGARUH KANDUNGAN METANA (CH<sub>4</sub>) TERHADAP KINERJA GAS ENGINE SIEMENS SGE-56SL PADA PLTSa JATIBARANG SEMARANG

Muhammad Anggit Gagat Arisoma<sup>1)</sup>, Mulyono<sup>2)</sup>, Anis Roihatin<sup>3)</sup>\*

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang,

Jalan Prof. Sudarto, Semarang, 50275

\*E-mail: anis.roihatin@polines.ac.id

### Abstract

The utilization of waste becomes energy has been done a lot, one of them for municipal waste power plant. In Semarang, municipal waste power plant (PLTSa) have been done through the utilization of landfill gas from TPA Jatibarang since 2019. Gas Engine Siemens SGE-56SL is one of the main equipment in PLTSa where the combustion process occurs. Insufficient supply of landfill gas causes performance of gas engine is not optimal. This research aims to study the effect of methane gas production from landfills on the performance of gas engines in power plant and study the characteristics of methane in order to improve the efficiency of gas engines. Performance of gas engine was evaluated by calculating thermal efficiency and specific fuel consumption (SFC) in various percentages of methane content and electrical load. The results showed that difference in the percentage of methane content didn't significantly affect thermal efficiency of gas engine. Specific fuel consumption was lower if the methane content of landfill gas was higher. At the highest percentage of methane content, which is 43.5%, the different electrical load variations affected landfill gas volume and specific fuel consumption (SFC). As the electrical load increased, the volume of landfill gas required for the combustion process was higher and the specific fuel consumption was lower. The conclusion was Gas Engine Siemens SGE-56SL has good performance when operated at a relatively large load because fuel consumption is more efficient than operated at lower load.

**Keywords:** *methane content, municipal waste power plant, gas engine, thermal efficiency, Specific fuel consumption*

### Abstrak

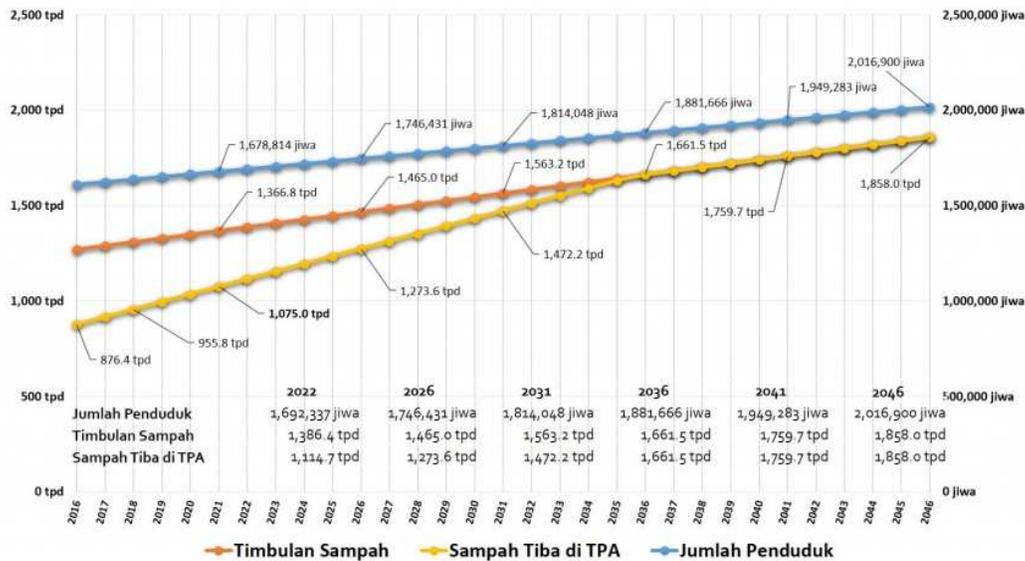
Pemanfaatan sampah menjadi energi telah banyak dilakukan, salah satunya untuk pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa). Di Semarang telah dikembangkan PLTSa dengan pemanfaatan gas dari TPA Jatibarang sejak tahun 2019. Gas Engine Siemens SGE-56SL merupakan salah satu peralatan utama pada PLTSa dimana terjadi proses pembakaran gas. Pasokan gas TPA yang kurang menyebabkan kinerja gas engine tidak optimal. Yang Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh produksi gas metana dari TPA terhadap kinerja gas engine pada PLTSa Jatibarang dan mempelajari karakteristik gas metana untuk meningkatkan efisiensi gas engine. Kinerja gas engine dievaluasi dengan menghitung efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dalam berbagai persentase kandungan metana dan beban listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan persentase kandungan metana tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi termal gas engine. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) semakin rendah jika kandungan metana gas TPA semakin tinggi. Pada persentase kandungan metana tertinggi yaitu 43,5%, variasi beban listrik yang berbeda mempengaruhi volume gas TPA dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC). Dengan meningkatnya beban listrik, volume gas TPA yang dibutuhkan untuk proses pembakaran menjadi lebih tinggi dan konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Gas Engine Siemens SGE-56SL memiliki performa yang baik apabila dioperasikan pada beban yang relatif besar karena cenderung lebih hemat bahan bakar daripada dioperasikan pada beban yang rendah.

**Kata Kunci:** *kandungan metana, pembangkit listrik tenaga sampah, gas engine, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik*

### PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, industrialisasi, urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi akan meningkatkan konsumsi penduduk yang berdampak pada peningkatan timbulan sampah yang dihasilkan [1]. Di daerah perkotaan seperti Kota Semarang juga mengalami peningkatan timbulan

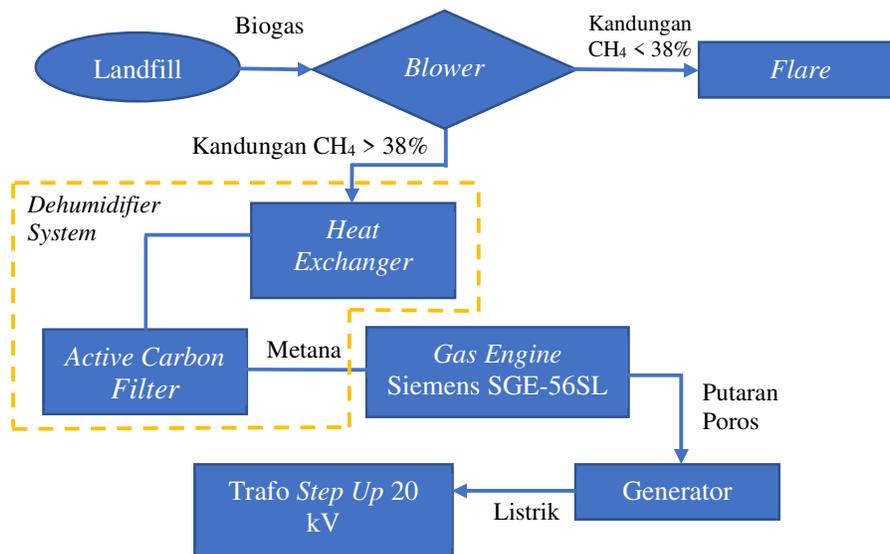
sampah seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan diproyeksikan akan terus meningkat dari tahun ke tahun seperti terlihat pada Gambar 1. Timbulan sampah di kota Semarang dibuang pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jatibarang.



Gambar 1. Proyeksi Jumlah Penduduk dan Timbulan Sampah Kota Semarang [2]

TPA menjadi pilihan yang mudah dan murah karena sampah hanya dibiarkan menumpuk pada suatu lahan dan dibiarkan membusuk dengan sendirinya oleh alam. Dalam kondisi anaerob, mikroorganisme akan mengolah bahan organik dalam sampah menjadi komponen senyawa gas seperti metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) dan amonia (NH<sub>3</sub>). Komposisi gas yang dihasilkan dari sampah TPA terdiri dari 50% CH<sub>4</sub>, 40% CO<sub>2</sub> dan 10% gas lainnya [3]. Gas metana dan karbon dioksida sendiri apabila melayang bebas ke atmosfer dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*Green House Effect*) yang dapat menyebabkan perubahan iklim yang ekstrem dan bencana alam [4].

Pemanfaatan gas metana yang dihasilkan dari sampah TPA sebagai sumber energi dapat menggantikan energi fosil dan mengurangi efek gas rumah kaca. Sejak tahun 2019, TPA Jatibarang di Kota Semarang memanfaatkan gas hasil Sampah TPA sebagai bahan bakar gas pada pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) Jatibarang. Proses pembangkitan listrik pada PLTSA Jatibarang dapat dilihat pada Gambar 2. PLTSA Jatibarang beroperasi dengan kapasitas 200 kW dari kapasitas terpasang 954 kW [5]. Pada PLTSA Jatibarang, peralatan utama seperti *gas engine* menjadi variabel penting dalam produksi listrik. Namun, yang terjadi di lapangan belum tentu sama dengan kondisi idealnya. *Gas engine* tidak jarang berhenti beroperasi dikarenakan kurangnya pasokan metana dari TPA. Hal inilah yang menyebabkan *gas engine* Siemens SGE-56SL tidak dapat bekerja pada kondisi terbaiknya. Mengacu pada penelitian yang dilakukan Kukoyi dkk [6], menyatakan bahwa performa *gas engine* meningkat seiring dengan semakin meningkatnya jumlah metana. Berdasarkan uraian tersebut, maka perlu dievaluasi pengaruh kandungan metana terhadap kinerja *Gas Engine Siemens SGE-56SL* pada PLTSA Jatibarang. Efisiensi gas engine yang terbaik diharapkan dapat meningkatkan kapasitas pembangkitan listrik.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Pembangkitan Listrik pada PLTSA Jatibarang

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *Gas Engine* Siemens SGE-56SL milik PLTSA Jatibarang. Pengambilan data dilakukan secara langsung dan tak langsung. Data primer meliputi data operasional yang terekam dalam *daily logsheet* PLTSA Jatibarang serta spesifikasi *Gas Engine* Siemens SGE-56SL seperti dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Gas Engine* Siemens SGE-56SL

Parameter Mesin	Satuan	Nilai
Bahan Bakar		Biogas
Kapasitas Daya	kW	985
Susunan Silinder		V 16
Kecepatan Putaran	rpm	1500
Ukuran Bore	mm	160
Ukuran Stroke	mm	175
Rasio Kompresi		12:3
Flow Rate	m <sup>3</sup> /jam	8 - 600
Temperatur Inlet Gas	°C	40 - 60
Efisiensi Termal	%	52,2

*Gas Engine* Siemens SGE-56SL mengadopsi mesin pembakaran dalam dengan busi sebagai pemercik bunga apinya sehingga evaluasi kinerja *Gas Engine* Siemens SGE-56SL didasarkan perhitungan efisiensi termal pada siklus Otto dan konsumsi bahan bakar spesifik yang sesuai dengan persamaan (1) s/d (8). Selain itu juga dianalisis kebutuhan gas metana dan konsumsi bahan bakar spesifik dengan beban yang divariasikan pada persentase metana tertinggi.

Efisiensi Siklus Otto dapat dihitung dengan persamaan berikut:

- 1) Temperatur pada langkah kompresi ( $T_2$ )

$$T_2 = T_1 (r_c)^{k-1} \quad \text{Persamaan (1)}$$

- 2) Nilai rasio kalor spesifik ( $k$ )

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad \text{Persamaan (2)}$$

- 3) Temperatur pada langkah kerja ( $T_3$ )

$$T_3 = T_4 (r_c)^{k-1} \quad \text{Persamaan (3)}$$

- 4) Nilai panas yang masuk ( $q_{in}$ )

$$q_{in} = c_v (T_3 - T_2) \quad \text{Persamaan (4)}$$

- 5) Nilai panas yang keluar ( $q_{out}$ )

$$q_{out} = c_v (T_4 - T_1) \quad \text{Persamaan (5)}$$

- 6) Efisiensi Siklus Otto

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = \frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}} \quad \text{Persamaan (6)}$$

Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dihitung untuk mengetahui seberapa banyak bahan bakar yang dihabiskan untuk menghasilkan daya dalam periode tertentu. Apabila daya dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka konsumsi bahan bakar spesifik dapat dirumuskan:

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad \text{Persamaan (7)}$$

Keterangan:

- SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)  
 $\dot{m}_f$  = laju aliran bahan bakar (kg/jam)  
 P = daya (kW)

Sedangkan besarnya laju aliran bahan bakar ( $\dot{m}_f$ ) dihitung menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_f = \frac{S_{gf} \times V_f \times 10^{-3}}{t_f} \times 3600 \quad \text{Persamaan (8)}$$

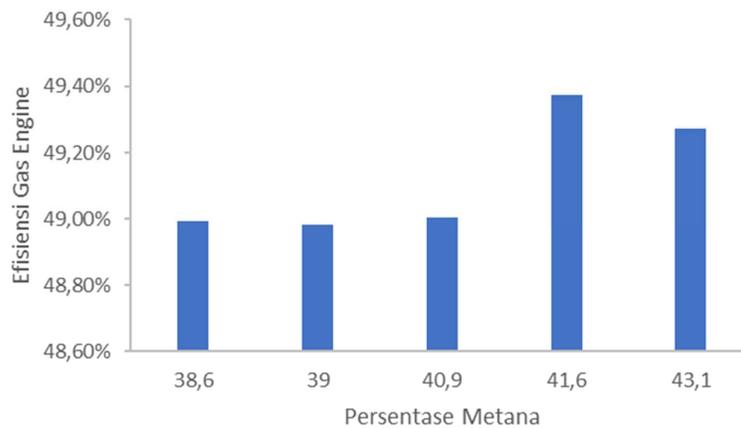
Keterangan:

- $\dot{m}_f$  = laju aliran bahan bakar (kg/jam)  
 $S_{gf}$  = spesifik gravitasi  
 $V_f$  = volume bahan bakar yang diuji (ml)  
 $t_f$  = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar yang diuji (detik)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi kandungan metana dengan rentang 38,6% sampai dengan 43,1% menghasilkan efisiensi termal *gas engine* sebesar 48,98% - 49,37% untuk pembebanan 100kW seperti terlihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan efisiensi terbesar dicapai pada persentase metana sebesar 41,6% dan yang terendah berada pada kandungan metana sebesar 39%. Efisiensi termal yang didapat relatif hampir sama pada variasi kandungan metana yang berbeda dikarenakan masukan gas masih di bawah spesifikasi *gas engine* dimana masukan gas pada *gas engine* harus mempunyai kandungan metana 50-60% agar mencapai efisiensi terbaik yaitu 52% seperti pada Tabel 1.



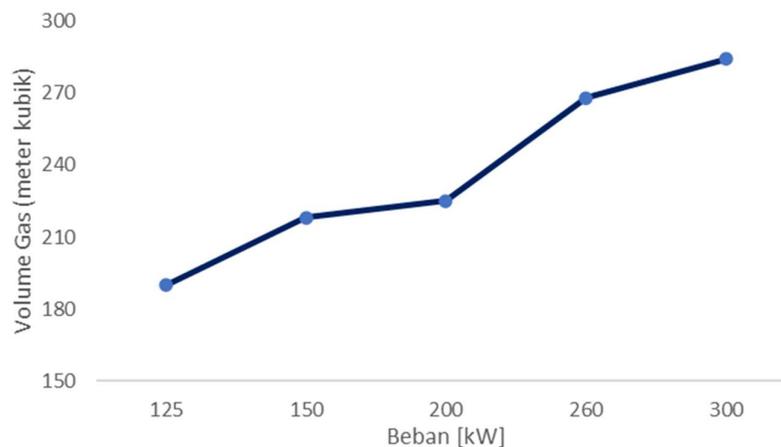
Gambar 3. Pengaruh persentase metana terhadap efisiensi termal *gas engine*

Efisiensi termal pada *gas engine* yang hampir sama dengan kandungan metana yang berbeda dianalisa lebih lanjut dengan konsumsi bahan bakar spesifik. Persentase kandungan metana yang semakin tinggi, menyebabkan konsumsi bahan bakar spesifik yang semakin rendah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh persentase metana terhadap konsumsi bahan bakar spesifik dan laju aliran bahan bakar pada beban 100 kW

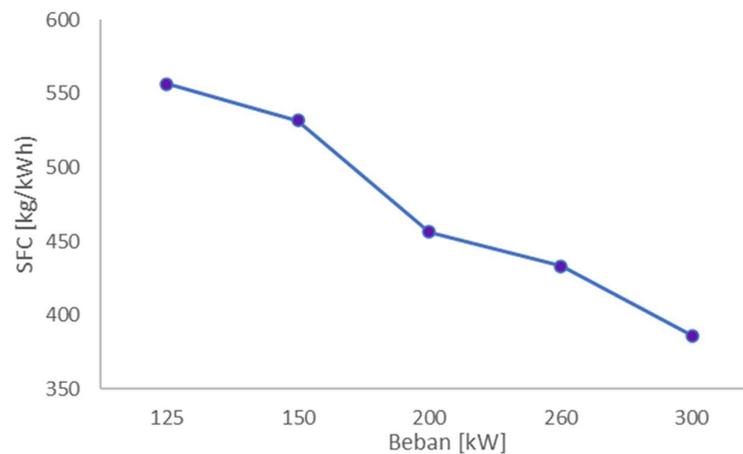
CH <sub>4</sub>	Beban	Flow Rate	S <sub>gf</sub>	m <sub>f</sub>	SFC
[%]	kW	[m <sup>3</sup> /jam]		[kg/jam]	[kg/kWh]
38,7	100	228	0,47795	108972,6	1089,726
39	100	214	0,47761	102208,5	1022,085
40,2	100	168	0,48396	81305,28	813,0528
41,6	100	150	0,48642	72963	729,63
43,1	100	144	0,48430	87174	871,74

Semakin tinggi kadar metana, maka kualitas gas TPA dapat dikatakan semakin baik, sehingga kebutuhan bahan bakar semakin rendah. Dengan semakin tingginya kadar metana, artinya proses pembakaran pada *gas engine* akan semakin optimal sehingga efisiensi termal yang dihasilkan tidak jauh berbeda. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sugeng Mulyono dkk dengan menggunakan bahan bakar bensin [7] diperoleh hasil bahwa semakin tinggi kadar oktan dalam bahan bakar, maka konsumsi bahan bakar spesifik yang dibutuhkan oleh mesin akan semakin kecil.



Gambar 4. Hubungan antara beban pembangkit dengan volume gas metana

Pada persentase kandungan metana yang tertinggi, yaitu 43,5% variasi beban pembangkitan yang berbeda mempengaruhi kebutuhan gas TPA (volume) dan konsumsi bahan bakar spesifik. Dengan meningkatnya beban yang digunakan untuk pembangkitan, maka akan berbanding lurus dengan volume gas yang dibutuhkan untuk proses pembakaran dan berbanding terbalik dengan konsumsi bahan bakar spesifik seperti ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Gas Engine* Siemens SGE-56SL memiliki performa yang baik apabila dioperasikan pada beban yang relatif besar karena cenderung lebih hemat bahan bakar daripada dioperasikan pada beban yang rendah.



Gambar 4. Hubungan antara beban pembangkit dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)

## KESIMPULAN

Kinerja Gas Engine Siemens SGE-56SL pada PLTSA Jatibarang dievaluasi dengan menghitung efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dalam berbagai persentase kandungan metana dan beban listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase kandungan metana yang berbeda tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi termal gas engine. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) semakin rendah jika kandungan metana gas TPA semakin tinggi. Pada persentase kandungan metana tertinggi yaitu 43,5%, variasi beban listrik yang berbeda

mempengaruhi volume gas TPA dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC). Dengan meningkatnya beban listrik, volume gas TPA yang dibutuhkan untuk proses pembakaran menjadi lebih tinggi dan konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Gas Engine Siemens SGE-56SL memiliki performa yang baik apabila dioperasikan pada beban yang relatif besar karena cenderung lebih hemat bahan bakar daripada dioperasikan pada beban yang rendah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaushal, Rajendra Kumar, Mayuri Chabukdhara, and George K Varghese, "Municipal Solid Waste Management in India-Current State and Future Challenges: A Review." *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 1473–89, 2012.
- [2] <https://humas.semarangkota.go.id/datalingkunganhidup/data-sampah-2018>, diakses tanggal 23 Mei 2022
- [3] Pawananont, Kanchit, and Thananchai Leephakpreeda. "Feasibility analysis of power generation from landfill gas by using internal combustion engine, organic Rankine cycle and Stirling engine of pilot experiments in Thailand." *Energy Procedia*, vol. 138, pp. 575-579, 2017.
- [4] Surtani, "Efek Rumah Kaca Dalam Perspektif Global (Pemanasan Global Akibat Efek Rumah Kaca)," *Jurnal Geografi*, vol. 4, no. 1, pp. 49-55, 2015.
- [5] Nurhadi, Windarta, J., Ginting, D., Sinuraya, E. W., & Pasaribu, G. M., "Evaluasi Pemanfaatan Gas TPA Menjadi Listrik, Studi Kasus TPA Jatibarang Kota Semarang," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 1, pp. 20-27, 2020.
- [6] Kukoyi, T. O., Muzenda, E., Akinlabi, E. T., Mashamba, A., Mbohwa, C., & Mahlatsi, T., "Biogas use as fuel in spark ignition engines," in *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2016, pp. 1064-1069.
- [7] Sugeng Mulyono, Gunawan, and Budha Maryanti, "Pengaruh Penggunaan Dan Perhitungan Efisiensi Bahan Bakar Premium Dan Pertamina Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar Bensin," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 2, no. 1, pp. 28–35, 2014.