

PENGUKURAN KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS BERBASIS LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

Kiki Utama Putra¹, Zahrul Ulum², Aminah Asmara Dewi³

Universitas Alwashliyah Medan

Universitas Alwashliyah Medan

Universitas Alwashliyah Medan

Email : kikiutamaputra2019@gmail.com ¹, zahrul46164@gmail.com ²,
dewielektro22@gmail.com ³

Abstract. A crucial indicator of biogas power plant performance is the quality of the biogas entering the gas engine. Poor-quality biogas causes issues such as startup failures, corrosion of intercooler fins, and scoring of pistons and cylinders, in addition to reducing oil lifespan. Therefore, this study aims to detect performance degradation in the biogas power plant by measuring its operational performance using Key Performance Indicators (KPIs). The performance measurement process revealed declines in specific areas, namely the digestion KPIs regarding inlet pH and inlet temperature; this was attributed to the absence of a cooling pond system and a mixing pit at the plant. Regarding biogas condition KPIs, H₂S and O₂ levels were found to be suboptimal. However, gas engine consumption metrics were within acceptable limits, with consumption below 2 kWh/m³ and a Capacity Factor (CF) of 45%. Based on these measurements, optimization of the biogas system is required, as H₂S and O₂ levels did not meet KPI standards. The study concludes that KPIs can serve as a valuable reference for assessing and integrating the performance of biogas power plants.

Keywords: Key performance indicator, Biogas, Performance, measurement

Abstrak. Salah satu indikator krusial dalam performa pembangkit listrik tenaga biogas adalah kualitas biogas yang masuk ke gas engine. Biogas yang buruk menyebabkan masalah seperti kegagalan starting, korosi pada sirip intercooler, serta piston dan silinder tergores selain itu mengurangi umur oli. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mendeteksi penurunan kinerja pembangkit listrik tenaga biogas dengan melakukan pengukuran kinerja pembangkit listrik tenaga biogas. Metode yang digunakan yaitu menerapkan key performance indicator (KPI). Dalam proses pengukuran kinerja terdapat beberapa penurunan kinerja yaitu KPI digester pada parameter pH in dan temperatur in. hal ini disebabkan tidak adanya system cooling pond dan mixing pit pada PLTBg. Pada KPI biogas condition H₂S berstatus kurang baik, dan O₂ berstatus kurang baik. Untuk konsumsi biogas pada gas engine sudah sesuai yaitu dibawah 2 kWh/m³ dan CF sebesar 45 %. Dari hasil pengukuran kinerja tersebut perlu dilakukan pengoptimalisasi di area biogas condition karena didapatkan bahwa H₂S dan O₂ tidak sesuai dengan nilai KPI. Dari penelitian ini didapatkan bahwasanya key performance indicator (KPI) dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui dan memantau kinerja pembangkit listrik tenaga biogas.

Kata Kunci: Key performance indicator, Biogas, Kinerja, Pengukuran

PENDAHULUAN

Produksi minyak kelapa sawit mentah (CPO) di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Hal ini berdampak pada peningkatan volume limbah yang dihasilkan dari proses produksinya. Salah satu cara untuk mengurangi dampak akibat limbah yang dihasilkan pabrik kelapa sawit adalah dengan memanfaatkan limbah menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) (Pangarso & Kusdiyantini, 2022). Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) pada dasar memanfaatkan limbah cair atau POME yang masih sarat dengan lemak untuk diubah menjadi biogas (Harahap et al., 2020). Pembentukan Biogas terjadi secara alami ketika limbah cair kelapa sawit tersebut teruraikan pada kondisi anaerob. Kandungan biogas terdiri dari 50-70 % metana (CH_4), 25-45% (CO_2), dan sejumlah kecil gas lainnya (Firdausi, 2020). Proses pembentukan biogas dipengaruhi beberapa parameter seperti pH dan temperatur. pH yang tidak sesuai mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian (Alkusma et al., 2016). Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metana. pH yang optimum bagi mikroorganisme adalah 6-8 (Budiyono, 2014).

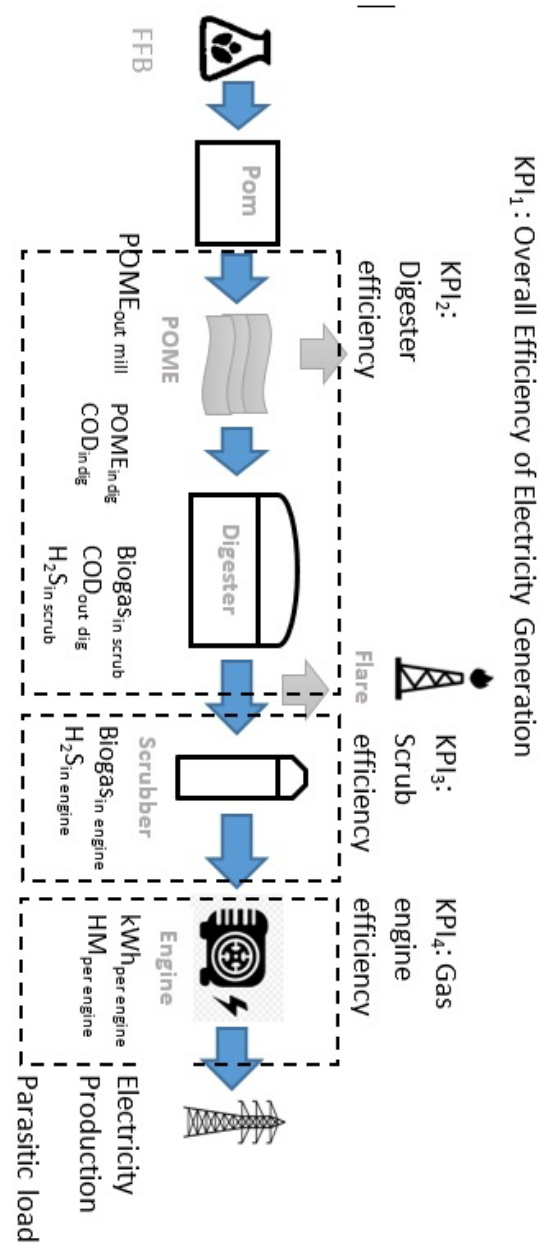
Temperatur berpengaruh pada proses dekomposisi anaerob bahan organik dan produksi gas (Irawan & Khudori, 2015). Penghasilan biogas dapat mencapai kondisi optimal jika bakteri yang terlibat dalam proses berada dalam lingkungan yang ideal pada temperatur $25^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$ (Fauzan, 2017). Biogas yang sudah terbentuk akan diubah menjadi listrik melalui *gas engine* yang terhubung dengan generator.

Salah satu indikator krusial dalam performa pembangkit listrik tenaga biogas adalah kualitas biogas yang masuk ke *gas engine* (Rosyadi et al., 2019). Komponen utama yang menentukan kualitas biogas ini adalah kandungan metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Semakin tinggi kadar metana, semakin besar pula nilai kalor yang dihasilkan. Sebaliknya apabila karbon dioksida dominan maka nilai kalor menurun dan akan mengurangi efisiensi energi yang dihasilkan (Pratiwi.j, 2020).

Kandungan biogas yang harus diperhatikan juga nilai H_2S . H_2S merupakan gas pengotor yang terdapat pada biogas. gas ini merupakan gas yang berbau dan mematikan. H_2S yang diperbolehkan pada PLTBg memiliki rentang nilai dibawah 200 ppm (Metty et al., 2014). H_2S yang tinggi akan

menyebabkan korosi pada sirip intercooler, piston dan silinder akan tergores serta peralatan yang terbuat dari logam selain itu dapat mengurangi umur oli mesin *gas engine* (Palallo & Oskar, 2023). Supaya hal tersebut tidak terjadi maka perlu dilakukan pengukuran kinerja pada pembangkit listrik tenaga biogas.

Dalam rangka mendukung kinerja operasi pembangkit khususnya dalam efisiensi dan memperoleh hasil yang maksimal maka perlu dilakukan pengukuran kinerja pada sistem PLTBg tersebut. Evaluasi dilakukan berdasarkan *key performance indicator* (KPI). KPI merupakan alat ukur yang digunakan untuk memantau pengoperasian unit pembangkit, dan mengidentifikasi penurunan kinerjanya serta perlu melakukan pemeliharaan (Emawan et al., 2021). Selain itu KPI sebagai indikator kinerja yang mengukur efektivitas operasi pembangkit listrik (hermann et al., 2021). Pembangkit listrik tenaga biogas memiliki beberapa KPI yaitu KPI digester, KPI biogas scrubber, KPI biogas *condition*, KPI gas engine. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 KPI Pembangkit
Listrik tenaga biogas

KPI yang dipilih mewakili aspek-aspek penting terkait kinerja system pembangkit yang diteliti. Untuk mempermudah pengukuran jumlah KPI dibatasi, namun dengan pendekatan yang sama bergantung pada relevasinya dengan kasus tertentu. Indikator kinerja

utama pengoperasian pembangkit listrik tenaga biogas ialah nilai terukur yang menunjukkan seberapa baik kinerja pembangkit dalam produksi energi listrik. Melacak KPI untuk pengoperasian pembangkit memiliki beberapa keuntungan yaitu memantau kinerja pembangkit dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan.

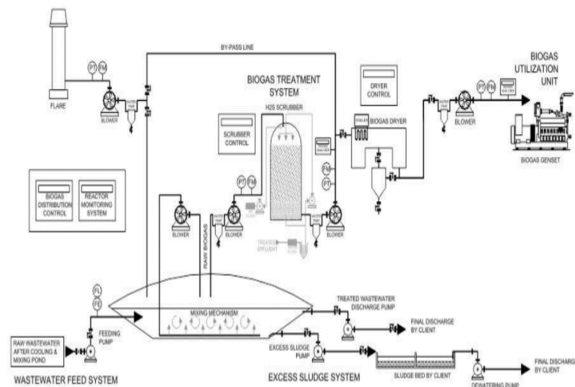
METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi penurunan kinerja pembangkit listrik tenaga biogas dan mengoptimalkan area pembangkit yang dapat ditingkatkan kinerjanya. Pendeteksian dilakukan dengan melakukan pengukuran kinerja pembangkit berdasarkan *key performance indicator* (KPI). Pengambilan data dengan melakukan pengambilan sampel parameter pada setiap KPI. Pada bagian ini penulis akan menyajikan serangkaian parameter *key permance indicator* untuk pengukuran kinerja pengoperasian pembangkit listrik tenaga biogas. Untuk pengukuran yang lebih baik maka penulis mengelompokkan KPI dalam beberapa kategori seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Parameter KPI PLTBg

KPI	Parameter	Status	Rentang Nilai	Satuan
<i>Digester</i>	POME in	Baik	300 - 600	M ³ /hari
	COD in	Baik	< 80.000	mg/L
	Temperatur in	Baik	35 - 40	°C
	Temperatur out	Baik	35 - 40	°C
	pH in	Baik	6,5 - 7,4	
	pH out	Baik	6,5 - 7,4	
<i>Biogas scrubber</i>	Flow	Baik	7.600 - 11.000	m ³ /day
	CH ₄	Baik	50 - 75	%
<i>Biogas conditioning</i>	H ₂ S	Baik	0 - 200	ppm
		Buruk	200 - 2.500	ppm
	O ₂	Baik	1-2	%
<i>Gas Engine</i>	Running Hour	Baik	20 - 24	Jam
	H ₂ S	Baik	0 - 200	Ppm
	CH ₄	Baik	50 - 100	%
	Biogas pressure	Baik	200 - 650	Mbar
	Biogas flow	Baik	6.200 - 9.600	m ³ /hari
	Total power generation	Baik	11.000 - 21.600	kWh/Hari
	Parasitic load	Baik	0 - 1.200	kWh/Hari
	Excess power generation/IPP	Baik	10.000 - 20.800	kWh/Hari

Setelah mengelompokkan KPI seperti pada tabel 2.1 maka dilakukan pengambilan data berdasarkan parameter pada setiap KPI. Pengukuran kinerja dimulai dengan mengecek komposisi biogas selanjutnya pengecekan pada unit scrubber, heat exchanger, blower dan filter pada bagian mesin-mesin biogas. Pada penelitian ini pengukuran kinerja pembangkit listrik tenaga biogas juga dilakukan pada unit line penyaluran biogas seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema sistem penyaluran biogas

HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUKURAN KINERJA PLTBG KPI DIGESTER

Pengumpulan data melalui pengamatan dilokasi penelitian. Adapun data KPI Digester dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data KPI Digester

Parameter	Status	Nilai	Satuan
POME in	Kurang baik	262,09	M ³ /hari
COD in	Baik	77748	mg/L
Temp in	Kurang baik	80	°C
Temp out	Baik	37	°C
pH in	Kurang baik	4	
pH out	Baik	7	

Table 3.1 merupakan hasil dari data KPI digester. Diperoleh hasil bahwa feeding POME in nilai rentang KPI

sehingga berstatus tidak baik. Hal ini disebabkan karena pabrik kelapa sawit tidak mengolah selama 24 jam mengakibatkan volume limbah menurun yang mengalir ke digester. Terlihat juga T in dan pH tidak memenuhi nilai KPI. Kedua parameter ini sangat penting pada digester. Karena dapat mempengaruhi proses fermentasi biogas (Trisakti et al., 2015). Kekurangan pada PLTBg Kwala Sawit tidak terdapat mixing pit yang berfungsi untuk menurunkan temperature dan menetralkan pH POME sebelum di masukkan ke dalam digester. **KPI Biogas scrubber dan Biogas Condition**

Bagian ini merupakan kondisi aliran biogas dari digester menuju bioscrubber untuk dilakukan pemurnian biogas. Pengambilan data dilakukan. Adapun data KPI tersebut terdapat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 KPI biogas scrubber dan condition

Parameter	Status	Nilai	Satuan
Flow	Baik	7897	M ³ /hari
CH ₄	Baik	53,5	%
H ₂ S	Kurang baik	237	Ppm
O ₂	Kurang baik	2,5	%

Terlihat pada Tabel 3.2 bahwa aliran biogas *flow* sudah sesuai nilai KPI dan berstatus baik. Hal ini dipengaruhi beberapa factor diantaranya tidak terdapat kebocoran jalur menuju scrubber, kesesuaian dengan beban listrik pada gas engine dan kondisi pompa blower yang masih bagus.

Tabel 3.2 terlihat O₂ dan H₂S yang berstatus kurang baik sedangkan CH₄ berstatus baik. Hal yang jadi perhatian adalah H₂S karena termasuk gas berbahaya dan gas yang tidak dibutuhkan. Nilai H₂S tersebut terlalu tinggi dari rentang nilai yang di setuju yaitu sebesar 200 ppm seperti pada tabel 2.1. Apabila gas H₂S yang tinggi terbakar maka berakibat menjadi sulfur oksidasi yang dapat menyebabkan korosi pada komponen engine yang terbuat dari logam dan menyebabkan oli mesin menjadi asam seperti yang diungkapkan (Angkat et al., 2020) pada penelitiannya bahwa hasil pembakaran gas yang mengandung H₂S menghasilkan belerang dan asam sulfat yang sangat korosif terhadap logam.

3.1.4 KPI Gas Engine

Tabel 3.3 KPI Gas Engine

Parameter	Status	Nilai	Satuan
RH	Baik	20	Jam
H ₂ S	Kurang baik	235	Ppm

CH ₄	Baik	54	%
Press	Baik	250	Mbar
Flow	Baik	6576	M ³ /hari
Total power generation	Baik	12360	kWh/hari
Parasitic load	Baik	790	kWh/hari
IPP	Baik	11568	kWh/hari

Hasil dari pengamatan ini menunjukkan kemampuan daya listrik yang dihasilkan dari *gas engine* untuk menghasilkan energi listrik yang siap di salurkan ke pelanggan. Hal tersebut merupakan salah satu pengaplikasian energi terbarukan yang berbasis limbah sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Dari data pengamatan dapat diketahui kinerja energi dengan menghitung rasio output input dengan membagi energi output dengan energi masukan. Perbandingan biogas yang masuk sebagai bahan baku pembangkit dengan listrik yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 3.4

Biogas:electricity ratio (kWh/Nm³)

$$= \frac{\text{Power generation (kWh)}}{\text{biogas flow (Nm}^3\text{)}}$$

Biogas:electricity ratio = 12.360 / 6576,53

$$= 1,88 \text{ kWh/m}^3$$

Tabel 3.4 KPI Gas Engine

Parameter	Status	Nilai	Satuan
-----------	--------	-------	--------

RH	Baik	20	Jam
H ₂ S	Kurang baik	235	Ppm
CH ₄	Baik	54	%
Press	Baik	250	mbar
Flow	Baik	6576	M ³ /hari
Total power generation	Baik	12360	kWh/hari
Parasitic load	Baik	790	kWh/hari
IPP	Baik	11568	kWh/hari
Electric ratio	Baik	1,88	kWh/m ³

Tabel tenaga biogas Kwala Sawit memiliki target produksi harian sebesar 10.000 kWh/hari. Jika dilihat pada table 3.3 hari sudah memenuhi target produksi PLTBg. Hal tersebut terjadi dikarenakan gas *engine* sesuai dengan parameter KPI beroperasi selama 20 jam.

Selain KPI diatas terdapat indicator penting dalam pengukuran kinerja pembangkit yaitu Capacity factor (CF) merupakan indikator seberapa penuh pembangkit listrik digunakan. CF pembangkit listrik menghasilkan keluaran rata-rata pembangkit terhadap kapasitas maksimumnya. Untuk mencari besar nilai capacity factor pada pembangkit dibutuhkan data produksi

listrik dan kapasitas pembangkit. Berdasarkan data yang diperoleh , pembangkit listrik biogas memiliki kapasitas 1063 kW maka CF sebesar 45

Simpulan

Dalam proses pengukuran kinerja terdapat beberapa penurunan kinerja yaitu KPI digester pada parameter pH in dan temperatur in. hal ini disebabkan tidak adanya system cooling pond dan mixing pit pada PLTBg. Pada KPI biogas *condition* H₂S berstatus kurang baik, dan O₂ berstatus kurang baik. Untuk konsumsi biogas pada gas *engine* sudah sesuai yaitu dibawah 2 kWh/m³ dan CF sebesar 45 %. Dari hasil pengukuran kinerja terebut perlu dilakukan pengoptimalisasi di area biogas *condition* karena didapatkan bahwa H₂S dan O₂ tidak sesuai dengan nilai KPI..

DAFTAR PUSTAKA

- Alkusma, Y. M., Hermawan, H., & Hadiyanto, H. (2016). Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Kabupaten Kotawaringin Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 96. <https://doi.org/10.14710/Jil.14.2.96>
- 102
- Angkat, M. A., Pasya, M. H., & Asri, G.

- (2020). Penghilangan Senyawa Hidrogen Sulfida (H_2S) Pada Biogas Menggunakan Kompos. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 116(3), 156–161.
- Budiyono, B. (2014). Pengaruh Ph Dan Rasio Cod:N Terhadap Produksi Biogas Dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Vinasse). *Eksergi*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.31315/E.V11i1.324>
- Emawan, D., Pratama, A. T., & Nasution, H. (2021). Application Of Analytic Hierarchy Process (Ahp) To Develop The Weighting Of Key Performance Indicators On Gas Engine Power Plants. *Proceedings Of The Conference On Management And Engineering In Industry*, 3(4), 18–23. <https://doi.org/10.33555/Cmei.V3i4.90>
- Fauzan, W. (2017). Pengaruh Pengisian Ulang Substrat Susu Basi Pada Abr (Anaerobic Baffled Reactor) Dengan Proses Semi Kontinyu Terhadap Produksi Gas Metana. *E-Proceeding Of Engineering*, 4(1), 705–712.
- Firdausi, M. (2020). Di Kabupaten Tanjung Jabung Barat. *Presisi*, 22(1), 1–6.
- Harahap, F., Leduc, S., Mesfun, S., Khatiwada, D., & Kraxner, F. (2020). Meeting The Bioenergy Targets From Palm Oil Based Biorefineries : An Optimal Configuration In Indonesia. *Applied Energy*, 278(August), 115749. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115749>
- Hermann, Ludwid And Herman, Ralf And Schoumans, O. (2021). Development And Application Of 2019 Economic Key Performance Indicators (Kpis). *Pharmacognosy Magazine*, 75(17), 399–405.
- Irawan, D., & Khudori, A. (2015). Pengaruh Suhu Anaerobik Terhadap Hasil Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Kolam Ikan Gurame. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 4(1), 17–22. <https://doi.org/10.24127/Trb.V4i1.3>
- Metty, K., Negara, T., Gde, T., Nindhia, T., Sucipta, I. M., Atmika, I. K. A., Ngakan, D., Putra, K., Surata, I. W., Komaladewi, A. A. I. A. S., & Belakang, L. (2014). Pemurnian Biogas Dari Gas Pengotor Hidrogen Sulfida (H_2S) Dengan Memanfaatkan Limbah Geram Besi Proses Pembubutan. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 5(1), 33–41.
- Palallo, F., & Oskar, I. (2023). Pengaruh Ukuran Arang Aktif Sebagai Filter

- Terhadap Reduksi Hidrogen Sulfida Pada Biogas.* 1(1).
- Pangarso, S. S., & Kusdiyantini, E. (2022). Review Potensi Pemanfaatan Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Ptpn 5 Potential Utilization Of Biogas From Palm Oil Mill Effluent Of Ptpn 5 : A Review Sustainable Palm Oil (Ispo). Ispo Itu Sendiri Merupakan Suatu Standar Yang Dibuat Sertifikasi. *Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy*, 6(01), 18–31.
- Pratiwi.J. (2020). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dari Limbah Cair Pks Pt. Perkebunan Nusantara V Sei Pagar Tugas Akhir. *Tugas Akhir .Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru.*
- Rosyadi, E., Rahmawati, N., Pertiwi, A., Murti, G. W., Fauzan, N., Rini, T. P., Muharto, B., Bhaskara, A., Saputra, H., Serpong, P., & Selatan, T. (2019). Evaluasi Plt Biogas Terantam Covered Lagoon (Cal) 700 Kw Untuk Pengembangan Plt Biogas Tipe Cstr Evaluation Of 700 Kw Covered Lagoon (Cal) Type Terantam Biogas Power Plant For Development Of. *M.I.P.I, November*, 265–276.
- Trisakti, B., Manalu, V., Taslim, I., & Turmuzi, M. (2015). Acidogenesis Of Palm Oil Mill Effluent To Produce Biogas: Effect Of Hydraulic Retention Time And Ph. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 195, 2466–2474. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.293>