



Optimalisasi dan Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Berbasis Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Kiki Utama Putra¹⁾, Zahrul Ulum²⁾, Aminah Asmara Dewi³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Alwashliyah Medan
E-mail: kikiutamaputra2019@gmail.com

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga biogas terdapat beberapa factor yang menyebabkan penurunan kinerja salah satunya adalah kualitas biogas. 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 evaluasi dan mengoptimalkan kinerja biogas condition dengan melakukan pemeliharaan di unit scrubber. Metode yang digunakan yaitu menerapkan key performance indicator (KPI) dan pemeliharaan korektif. Dalam proses evaluasi terdapat beberapa penurunan kinerja yaitu KPI digester pada parameter pH in, T in dan POME in. KPI biogas condition pada parameter H₂S dan O₂. KPI gas engine pada parameter excess power generation/IPP. Hasil optimalisasi setelah pemeliharaan H₂S dan O₂ berstatus baik. Dari penelitian ini didapatkan bahwasanya KP) dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui dan memantau kinerja pembangkit listrik tenaga biogas.

Kata Kunci: Biogas, Evaluasi, *Key performance indicator*, Optimalisasi

ABSTRACT

Biogas power plants have several factors that cause performance degradation, one of which is biogas quality. Poor biogas causes problems such as starting failure, corrosion of intercooler fins, and scratched pistons and cylinders, in addition to reducing oil life. Therefore, this study aims to detect the decline in performance of biogas power plants by evaluating and optimizing biogas condition performance by performing maintenance on the scrubber unit. The method used is to apply key performance indicators (KPIs) and corrective maintenance. In the evaluation process, there were several performance degradations, namely KPI digester on pH in, T in and POME in parameters. KPI biogas condition on H₂S and O₂ parameters. KPI gas engine on excess power generation/IPP parameters. The optimization results after H₂S and O₂ maintenance were in good status. From this study, it was found that KPIs can be used as a reference to determine and monitor the performance of biogas power plants.

Keywords: Biogas, Evaluation, Key performance indicator, Optimization

1. Pendahuluan

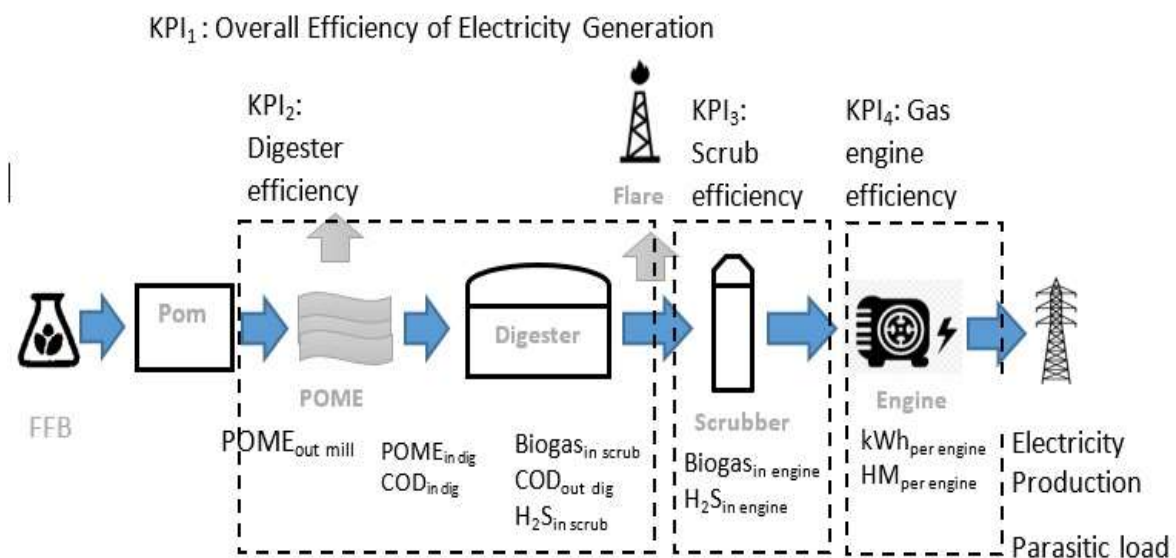
Salah satu cara untuk mengurangi gas rumah kaca akibat limbah yang dihasilkan pabrik kelapa sawit adalah dengan memanfaatkan limbah menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) [1]. PT Perkebunan Nusantara 2 memiliki PLTBg Kwala Sawit yang terletak di pabrik kelapa sawit (PKS) Kwala Sawit. Pembangkit tersebut memiliki kapasitas sebesar 1063 KW. Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) pada dasar memanfaatkan limbah cair atau POME yang masih sarat dengan lemak untuk diubah menjadi biogas [2]. Biogas terbentuk secara alami ketika limbah cair tersebut teruraikan pada kondisi anaerob. Biogas terdiri dari 50-70 % metana (CH₄), 25-45% (CO₂), dan sejumlah kecil gas lainnya [3]. Pembentukan biogas dipengaruhi beberapa parameter seperti pH dan temperatur. pH yang tidak sesuai mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian [4]. Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metana. pH yang optimum bagi mikroorganisme adalah 6-8 [5]. Temperatur

berpengaruh pada proses dekomposisi anaerob bahan organik dan produksi gas [6]. Penghasilan biogas dapat mencapai kondisi optimal jika bakteri yang terlibat dalam proses berada dalam lingkungan yang ideal pada temperatur $25^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$ [7]. Biogas yang sudah terbentuk akan diubah menjadi listrik melalui gas engine yang terhubung dengan generator. Saat ini PLTBg Kwala Sawit sudah beroperasi secara kontinyu memasok beban listrik ke jaringan distribusi 20 KV. Selama pembangkit tersebut beroperasi terdapat beberapa kendala dalam beroperasi seperti kegagalan starting pada gas engine yang disebabkan kualitas biogas yang kurang baik dan penurunan kinerja dikarenakan jalur gas engine kotor. Hal ini disebabkan penjadwalan perawatan yang tidak menentu sehingga PLTBg Kwala Sawit kurang maksimal dalam beroperasi.

Salah satu indikator krusial dalam performa PLTBg Kwala Sawit adalah kualitas biogas yang masuk ke gas engine [8]. 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 [9].

Kandungan biogas yang harus di perhatikan juga nilai H_2S . H_2S merupakan gas pengotor yang terdapat pada biogas. gas ini merupakan gas yang berbau dan mematikan. H_2S yang di perbolehkan pada PLTBg memiliki rentang nilai dibawah 200 ppm [10]. 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 [11]. Supaya hal tersebut tidak terjadi maka perlu dilakukan pengoptimalan kinerja pada area unit pemurnian biogas.

Dalam rangka mendukung kinerja operasi pembangkit khususnya dalam efisiensi dan memperoleh hasil yang maksimal maka perlu dilakukan optimalisasi dan evaluasi 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 [12]. Selain itu KPI sebagai indicator kinerja yang mengukur efektivitas operasi pembangkit listrik [13]. 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.



Gambar 1 merupakan skema KPI dari pembangkit listrik tenaga biogas. Selain melakukan evaluasi berdasarkan KPI. Pada penelitian ini juga akan melakukan optimalisasi pada unit biogas condition dengan melakukan pemeliharaan korektif. Pemeliharaan korektif berguna untuk memperbaiki unit yang mengalami gangguan yang mengakibatkan fungsinya tidak optimal dan masalah yang muncul mendadak.

Dengan dilakukan optimalisasi dan evaluasi pada pembangkit listrik tenaga biogas diharapkan dapat meningkatkan kinerja pembangkit dengan menghasilkan kualitas biogas, mencapai produksi listrik yang ditargetkan serta menjaga gas engine tetap beroperasi secara optimal.

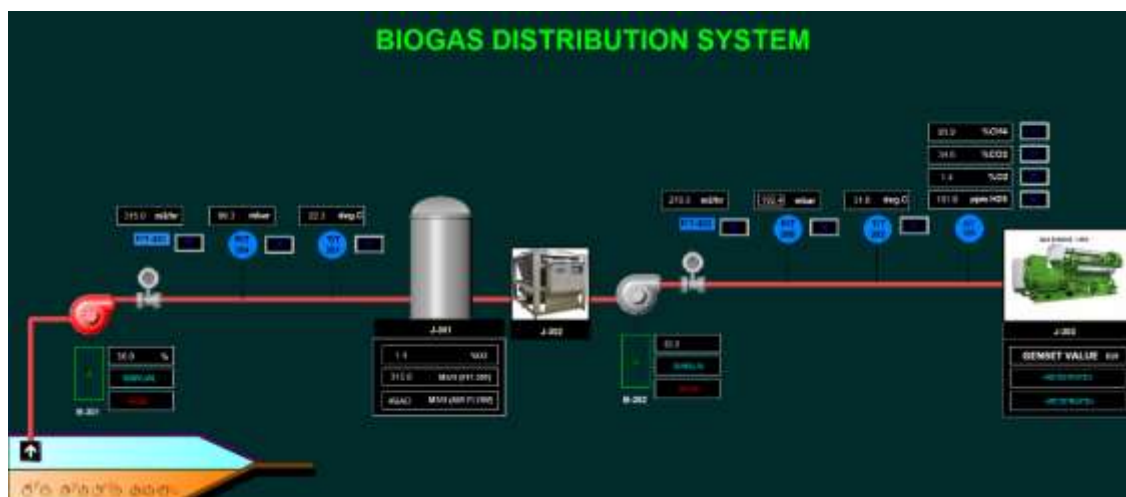
2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi penurunan kinerja PLTBg dan mengoptimalkan kinerja unit biogas condition. Pendeteksian dilakukan dengan melakukan evaluasi *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 mengevaluasi pengoperasian pembangkit listrik tenaga biogas. Untuk evaluasi yang lebih baik maka penulis mengelompokkan KPI dalam beberapa kategori seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter KPI PLTBg

KPI	Parameter	Status	Rentang Nilai	Satuan
Digester	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	
Biogas scrubber	Flow	Baik	7.600 – 11.000	m ³ /day
Biogas conditioning	CH ₄	Baik	50 – 75	%
	H ₂ S	Baik	0 – 200	ppm
	H ₂ S	Buruk	200 – 2.500	ppm
	O ₂	Baik	1 - 2	%
Gas Engine	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 semua parameter diperoleh hasilnya, maka dilakukan pengevaluasian sehingga dapat mendeteksi KPI mana yang mengalami penurunan dan tidak berstatus baik sesuai dengan Tabel 1. Setelah proses evaluasi selesai dilakukan selanjutnya melakukan pengoptimalan unit biogas condition dengan melakukan pemeliharaan korektif. Pemeliharaan dimulai dengan mengecek komposisi biogas selanjutnya pengecekan pada unit scrubber, heat exchanger, blower dan filter pada bagian mesin-mesin biogas. Pada penelitian ini pengoptimalan di fokuskan pada bagian unit scrubber dan pembersihan filter pada intake gas. Pemeliharaan yang dilakukan pada unit scrubber yaitu melakukan pembersihan media packing scrubber, pembersihan tangki scrubber dan mengganti cairan scrubber. Pemeliharaan juga dilakukan pada unit line penyaluran bigas seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema sistem penyaluran biogas

3. Hasil dan Pembahasan

A. KPI Digester

Dalam melakukan pengevaluasian dilakukan pengumpulan data melalui pengamatan dilokasi penelitian. Adapun data KPI digester dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data KPI Digester

Hari	POME in (m ³)	COD (mg/L)	T in (°C)	T out (°C)	pH in	pH out
1	244,6	77748	76	36	4	7
2	262,09	77748	80	37	4	6
3	177	77748	80	37	4	7
4	162,45	77748	77	36	4	7
5	126,8	77748	78	38	4	7
6	248,2	77748	80	37	4	6
7	268,6	77748	78	37	4	7

Tabel 2 merupakan hasil dari data KPI digester. Diperoleh hasil bahwa feeding POME mengalami fluktuasi dari hari ke 1 sampai hari ke 7. Berdasarkan Tabel 1 nilai POME tidak memenuhi nilai rentang KPI sehingga berstatus tidak baik. Hal ini disebabkan karena pabrik kelapa sawit tidak produksi mengakibatkan tidak ada limbah 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 se-ert5 yang [14]. Kekurangan pada PLTBg Kwala Sawit tidak terdapat mixing pit yang berfungsi untuk menurunkan temperature dan menetralkan pH POME sebelum di masukkan ke dalam digester.

B. KPI Biogas Scrubber

Bagian ini merupakan kondisi aliran biogas dari digester menuju bioscrubber untuk dilakukan pemurnian biogas. Pengambilan data dilakukan selama 7 hari. Adapun data KPI tersebut terdapat pada Tabel 3. Terlihat pada Tabel 3 bahwa aliran biogas flow mengalami fluktuasi setiap harinya. Pada hari ke 1 dan hari ke 3 sudah sesuai nilai KPI dan berstatus baik sedangkan pada hari ke 2, hari ke 4 sampai hari ke 7 berstatus kurang baik. Fluktuasi tersebut dipengaruhi beberapa factor diantaranya terdapat kebocoran jalur menuju scrubber, kesesuaian dengan beban listrik pada gas engine dan kondisi pompa blower yang mengalami penurunan kinerja.

Tabel 3. Biogas Flow

Hari	Flow (m ³ /hari)	Status
Ke 1	7897,33	Baik
Ke 2	7450,74	Kurang baik
Ke 3	7993,08	Baik
Ke 4	6619,1	Kurang baik
Ke 5	6351,83	Kurang baik
Ke 6	7200,05	Kurang baik
Ke 7	7374,23	Kurang baik

C. KPI Biogas Condition

Dari data Tabel 4 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. H₂S pada hari ke 1 sebesar 570 ppm, hari ke 2 yaitu 370 ppm, hari ke 3 yaitu 540 ppm, hari ke 4 yaitu 553 ppm, hari ke 5 yaitu 508 ppm, hari ke 6 yaitu 531 ppm, dan hari ke 7 sebesar 470 ppm. Nilai H₂S tersebut terlalu tinggi dari rentang nilai yang di setuju yaitu sebesar 200 ppm seperti pada tabel 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 [15] pada penelitiannya bahwa hasil pembakaran gas yang mengandung H₂S menghasilkan belerang dan asam sulfat yang sangat korosif terhadap logam.

Tabel 4. Data KPI Biogas Condition

Hari	Parameter	Nilai	Status
Ke 1	CH ₄	53,5	Baik
	H ₂ S	570	Kurang baik
	O ₂	2,5	Kurang baik
Ke 2	CH ₄	53,5	Baik
	H ₂ S	370	Kurang baik
	O ₂	2,1	Kurang baik
Ke 3	CH ₄	53,5	Baik
	H ₂ S	540	Kurang baik
	O ₂	2,5	Kurang baik
Ke 4	CH ₄	53,5	Baik
	H ₂ S	553	Kurang baik
	O ₂	2,1	Kurang baik
Ke 5	CH ₄	54,2	Baik
	H ₂ S	531	Kurang baik
	O ₂	2,6	Kurang baik
Ke 6	CH ₄	54,5	Baik
	H ₂ S	508	Kurang baik
	O ₂	3,1	Kurang baik
Ke 7	CH ₄	53,1	Baik
	H ₂ S	470	Kurang baik
	O ₂	2,5	Kurang baik

Dari data Tabel 4 terlihat O_2 dan H_2S yang berstatus kurang baik sedangkan CH_4 berstatus baik. Hal yang jadi perhatian adalah H_2S karena termasuk gas berbahaya dan gas yang tidak dibutuhkan. H_2S pada hari ke 1 sebesar 570 ppm, hari ke 2 yaitu 370 ppm, hari ke 3 yaitu 540 ppm, hari ke 4 yaitu 553 ppm, hari ke 5 yaitu 508 ppm, hari ke 6 yaitu 531 ppm, dan hari ke 7 sebesar 470 ppm. Nilai H_2S tersebut terlalu tinggi dari rentang nilai yang di setuju yaitu sebesar 200 ppm seperti pada tabel 2.1. Apabila gas H_2S 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 [15] pada penelitiannya bahwa hasil pembakaran gas yang mengandung H_2S menghasilkan belerang dan asam sulfat yang sangat korosif terhadap logam.

D. KPI Gas Engine

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. Pembangkit listrik tenaga biogas Kwala Sawit memiliki target produksi harian sebesar 10.000 kWh/hari. Jika dilihat pada hari ke 4, ke 5 dan ke 7 tidak memenuhi target produksi PLTBg. Hal tersebut terjadi dikarenakan gas engine tidak beroperasi selama 24 jam serta terjadinya penurunan daya keluaran generator. Terdapat beberapa penyebab gas engine tidak berjalan selama 24 jam diantaranya gas engine mengalami trip disebabkan gangguan jaringan PLN seperti reclose jaringan dan padam jaringan PLN, selain itu disebabkan juga terjadi perbaikan dan kurangnya pasokan bahan bakar. Hal ini juga yang menyebabkan terjadinya penurunan daya generator. Untuk mengatasi hal tersebut pembangkit listrik tenaga biogas disarankan beban minimal sebesar 550 KW supaya target produksi harian tercapai walaupun gas engine hanya berjalan selama 20 jam.

E. Optimalisasi Biogas Condition

Guna meningkatkan kinerja dari unit biogas condition dilakukan pemeliharaan. Pemeliharaan dilakukan di area penanganan dan pemurnian yaitu di bagian scrubber. Adapun kondisi biogas Condition sebelum dilakukan pemeliharaan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Biogas Sebelum Pemeliharaan

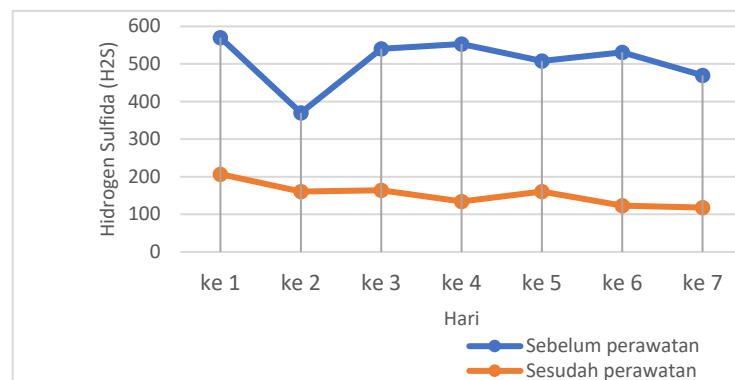
Hari	Kandungan Biogas			
	CH_2	CO_2	O_2	H_2S
1	53,5	32,4	2,5	570
2	53,5	34,3	2,1	370
3	53,5	33,4	3,1	540
4	53,5	34,5	2,5	553
5	54,5	33,5	2,5	508
6	54,2	33,1	2,1	531
7	53,1	32,4	2,6	470

Pada Tabel 5 kandungan H_2S sangat tinggi diatas 200 ppm. Tentu saja hal ini akan berbahaya apabila masuk kedalam gas engine. Dapat menyebabkan korosi pada komponen engine. Kenaikkan H_2S disebabkan pada saat proses spray packing media scrubber tidak dapat menfilter H_2S secara optimal akibat lumpur yang menempel serta pH cairan effluent yang dibawah netral. Proses pemeliharaan dilakukan dengan melakukan pembersihan lumpur dan kotoran yang berada di packing media scrubber dan tangki scrubber. Jalur pipa inlet engine dan line unit pemurnian juga dilakukan pembersihan dari sulfur yang menempel.

Adapun kondisi biogas setelah pemeliharaan seperti pada Tabel 6. Pada Tabel 6 dapat dilihat hasil pemeliharaan mengalami penurunan H_2S secara perlahan dari hari ke hari. Kondisi ini akan sangat bagus ketika biogas masuk kedalam gas engine karena akan menciptakan pembakaran yang bagus didalam penyalan engine. Perubahan H_2S sebelum dan sesudah pemeliharaan dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 6. Data Biogas Setelah Pemeliharaan

Hari	Kandungan Biogas			
	CH ₂	CO ₂	O ₂	H ₂ S
1	54,4	34,6	17,4	207
2	58,1	35	12,1	161
3	59,3	35	5,9	164
4	57,3	35,9	1,0	134
5	56	34,6	1,8	161
6	54,1	35,7	0,6	123
7	58,5	36,5	1,0	118

**Gambar 3.** Grafik Hidrogen Sulfida (H₂S)

Grafik diatas menunjukkan perubahan H₂S sebelum dan sesudah pemeliharaan. Pada hari ke 2 sampai hari ke 7 mengalami keadaan yang stabil yaitu di bawah 200 ppm dan O₂ pada hari ke 3 sampai ke 7 sudah di bawah 2%. Untuk menjaga kondisi tetap bagus harus diperhatikan beberapa hal yaitu cek secara berkala pH cairan effluent harus netral apabila dibawah diganti ulang. Pompa spray harus dinyalakan secara berkala karena berfungsi untuk memisahkan gas pengotor dan menfilter H₂S.

4. Kesimpulan

Dalam proses evaluasi 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. Pada KPI gas engine power generator mengalami fluktuasi. Pada hari ke 1, ke 2, dan hari ke 6 yang berstatus baik. Untuk konsumsi biogas pada gas engine sudah sesuai yaitu dibawah 2 kWh/m³. Dari hasil optimalisasi didapatkan bahwa H₂S dan O₂ sudah sesuai dengan nilai KPI artinya unit biogas condition sudah bekerja dengan optimal.

5. Daftar Pustaka

- [1] S.S. Pangarso dan E. Kusdiyantini. "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, Vol 6 No. 1, pp 18–31, 2022.
- [2] F.Harahap, S.Leduc, S.Mesfun, D.Khatiwada and F.Kraxner. "Meeting The Bioenergy Targets From Palm Oil Based Biorefineries : An Optimal Configuration In Indonesia". Applied Energy, Vol.278(August), pp 115749, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115749>
- [3] M.Firdausi."Di Kabupaten Tanjung Jabung Barat". Presisi, Vol 22 No.1, pp 1–6, 2020
- [4] Y.M.Alkusma, H.Hermawan, dan H.Hadiyanto."Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Kabupaten Kotawaringin Timur". Jurnal Ilmu Lingkungan, Vol.14 No.2, pp 96-102. 2016. <https://doi.org/10.14710/jil.14.2>

- [5] B.Budiyono. "Pengaruh Ph Dan Rasio Cod:N Terhadap Produksi Biogas Dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Vinasse)". Eksergi, Vol.11No.1,2014.<https://doi.org/10.31315/E.V11i1.324>
- [6] D. Irawan dan A.Khudori."Pengaruh Suhu Anaerobik Terhadap Hasil Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Kolam Ikan Gurame". Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Vol. 4, No.1, pp 17–22, 2015. <https://doi.org/10.24127/Trb.V4i1.3>
- [7] W.Fauzan."Pengaruh Pengisian Ulang Substrat Susu Basi Pada Abr (Anaerobic Baffled Reactor) Dengan Proses Semi Kontinyu Terhadap Produksi Gas Metana". E-Proceeding Of Engineering, Vo. 4, No.1, pp 705–712, 2017.
- [8] E.Rosyadi, N.Rahmawati, A.Pertiwi, G.Murti, N.Fauzan, T.P Rini, B.Muharto, A.Bhaskara, H.Saputra P.Serpong dan T.Selatan."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, pp 265–276, 2019.
- [9] J.Pratiwi." 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, 2020.
- [10] K.Metty, T.Negara, Gde.T. Nindhia, I.M Sucipto, I.K.A Atmika, D.Ngakan, K.Putra, I.Surata, A.Komaladewi, A.I.A.S dan L.Belakang. "Pemurnian Biogas Dari Gas Pengotor Hidrogen Sulfida (H₂s) Dengan Memanfaatkan Limbah Geram Besi Proses Pembubutan". Jurnal Energi Dan Manufaktur, Vol. 5 No.1, pp 33–41, 2014
- [11] F.Palallo dan I.Oskar. " Pengaruh Ukuran Arang Aktif Sebagai Filter Terhadap Reduksi Hidrogen Sulfida Pada Biogas. Vol 1.No. 1, 2023.
- [12] D.Ermawan, A.T. Pratama dan H.Nasution."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, Vol.3 No.4, pp 18–23, 2021. <https://doi.org/10.33555/Cmei.V3i4.90>
- [13] Herman, L.Herman, Ralf and O.Schoumans."Development And Application Of 2019 Economic Key Performance Indicators (Kpis)". Pharmacognosy Magazine, Vol.75 No.17, pp 399–405, 2021.
- [14] B.Trisakti, V.Manalu, I.Taslim, and M.Turmuzi. "Acidogenesis Of Palm Oil Mill Effluent To Produce Biogas: Effect Of Hydraulic Retention Time And Ph". Procedia - Social And Behavioral Sciences, Vol.195, pp 2466–2474, 2015.<https://doi.org/10.1016/J.Sbspro.2015.06.293>
- [15] M.A Angkat, M.H. Pasya, and G.Asri. " Penghilangan Senyawa Hidrogen Sulfida (H₂S) Pada Biogas Menggunakan Kompos".Jurnal Ilmiah Mahasiswa, Vo. 116 No.3), pp 156–161, 2020.