



ANALISIS PARAMETER PEMBENTUKAN BIOGAS DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT KELAPA SAWIT DENGAN SISTEM COVER LAGOON

ANALYSIS OF BIOGAS FORMATION PALM OIL MILL EFFLUENT PROCESSING USING A COVERED LAGOON SYSTEM

Ayu Wulandari ^{1*}, Erwin Nazri ², Rivaldy Pasaribu ³

^{1,2,3}Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan, Indonesia

*Corresponding Email: ayuwulandari300993@gmail.com

Abstract

Palm oil mill effluent (POME), a byproduct of fresh fruit bunch processing, contains very high levels of organic matter. This organic content makes POME a potentially valuable renewable energy source. One form of utilisation is processing POME into biogas via bioconversion. Biogas is a gas produced by anaerobic activity or fermentation of organic materials. This study aims to determine the process of biogas formation produced from palm oil wastewater in a digester pond with a cover lagoon system. This research method is primary data collection in the field and in the laboratory for 18 days. Observation parameters include pH, temperature, COD, biogas production, and gas composition. The results showed that the optimal pH and temperature for biogas production were 6.9-7.23 and 36.40 °C- 40 °C, respectively. The COD values produced ranged from 51,480 to 73,533 mg/L, while biogas production ranged from 505.77 to 664.5 Nm³/hour, with average gas compositions (CH₄, CO₂, O₂) of 59.8%, 37.75%, and 0.1%, respectively, and an average H₂S value of 1541.3 ppm. It can be concluded that gas production is related to pH, temperature, and COD values.

Keywords: *Biogas; Palm Oil; Waste Treatment; POME*

How to Cite: Wulandari, A., Nazri, E. & Pasaribu, R. (2026). Analisis Parameter Pembentukan Biogas dalam Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Sistem Cover Lagoon. Jurnal Agro Fabrica Vol.8 (1) : 60 – 69.

PENDAHULUAN

Peningkatan pertumbuhan perkebunan kelapa sawit di Indonesia, seiring dengan peningkatan pabrik pengolahan kelapa sawit (PKS). Pabrik pengolahan CPO menghasilkan produk samping berupa limbah cair kelapa sawit atau disebut dengan palm oil mill effluent (POME). Estimasi setiap 1 ton tandan buah segar (TBS) yang

diolah akan menghasilkan 0.7-1 m³ limbah cair (Rahayu et al., 2015). Limbah cair pada dasarnya merupakan campuran berbagai senyawa organik kompleks, terutama karbohidrat, senyawa bermuatan nitrogen, serta asam-asam organik bebas. Pada industri pengolahan kelapa sawit, limbah cair yang dihasilkan berasal dari berbagai tahapan proses dan umumnya berbentuk

campuran antara air dan minyak yang terbawa dari buah sawit. Alpandari dan Prakoso (2021) menggambarkan bahwa limbah cair dari pabrik kelapa sawit memiliki warna kecokelatan dengan komposisi utama berupa air yang mencapai 95-96%. Selain itu, limbah tersebut masih mengandung minyak sekitar 0,6-0,7% dan padatan tersuspensi dari sisa buah kelapa sawit sekitar 4-5%. Kandungan bahan organik dalam limbah cair kelapa sawit tergolong sangat tinggi, sehingga menjadi salah satu indikator penting dalam pengujian kualitas limbah. Tingginya kandungan organik tersebut dapat diketahui melalui nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD), yaitu parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan senyawa organik di dalam limbah. Nilai COD yang besar mencerminkan beban pencemar organik yang tinggi, sehingga limbah ini memerlukan proses pengolahan yang tepat sebelum dibuang ke lingkungan. Kandungan COD yang tinggi, dapat diturunkan dengan melakukan pengolahan secara anaerob. Pengolahan secara anaerob dapat menghasilkan biogas (Widarti et al., 2015)

Biogas merupakan gas yang mudah terbakar dan dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob atau tanpa oksigen (Wiharja et al., 2021). Biogas merupakan campuran berbagai komponen dan komposisi yang

bervariasi tergantung pada karakteristik bahan baku dan tingkat degradasi. Biogas sebagian terdiri dari 50 hingga 70% metana, 30-40% karbon dioksida dan sejumlah kecil gas lainnya. Biogas dapat dimanfaatkan sebagai listrik, cofiring boiler biogas dan *compressed biogas* (Pangarso dan Kusdiyantini, 2022).

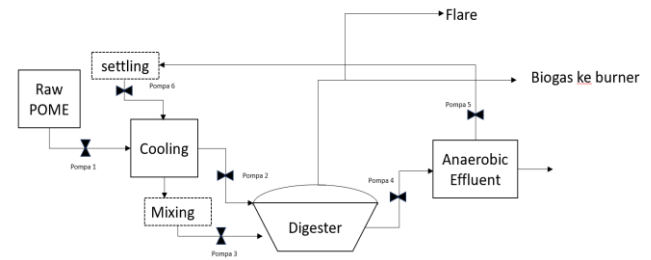
Biogas yang dimanfaatkan sebagai energi listrik biasanya dapat dimanfaatkan untuk kepentingan internal sendiri oleh pabrik kelapa sawit. Potensi ini cukup besar dalam pemanfaatan listrik dari POME yang juga menghasilkan produk samping berupa biochar, pellet biomassa dan hidrogen (Darmawan et al., 2019). Menurut Sucahyo et al. (2019) bahwa biogas yang digunakan sebagai bahan bakar untuk proses cofiring pada boiler hanya memerlukan sedikit penyesuaian pada sistem perpipaan, katup (*valve*), dan blower. Selain itu, diperlukan pula penambahan peralatan berupa pembakar gas (*gas burner*) serta panel kendali (*control panel*). Dalam pemanfaatan biogas sebagai cofiring boiler ini dapat menghemat pemakaian jumlah cangkang sebesar 6.549,3 ton per tahun yang berdampak pada peningkatan income perusahaan.

Pengolahan POME yang secara anaerob atau proses degradasi ini merupakan teknologi yang hemat akan energi dan ramah lingkungan (Fagbohunge et al., 2017). Keunggulan dalam pengelolaan anaerobik

ini antara lain tidak membutuhkan energi untuk aerasi, bahan organik yang terbiodegradasi hampir semua dapat membentuk biogas (gas metan) yang menjadi nilai tambah (Winanti, et al., 2019). Penelitian ini bertujuan menganalisis pembentukan biogas dari pengolahan limbah cair kelapa sawit (POME) menggunakan sistem *covered anaerobic lagoon* serta mengevaluasi penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebagai indikator kinerja proses anaerobik dan potensi pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar co-firing boiler.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data primer secara langsung di Pabrik Kelapa Sawit. Sistem pengolahan limbah menjadi biogas dengan sistem *cover lagoon*. Sistem *cover lagoon* merupakan sistem pengolahan limbah dengan sistem tertutup. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan selama 3 minggu (± 18 hari). Parameter yang diukur dalam penelitian ini antara lain pH, suhu, nilai COD, produksi biogas dan komposisi gas yang dihasilkan (CH_4 , CO_2 , O_2 dan H_2S). Skema dalam sistem *cover lagoon* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem *Covered lagoon*

Pengukuran pH dan suhu dilakukan pada 4 titik sampling antara lain raw POME (umpan masuk limbah), *Cooling* (kolam pendingin), kolam digester (*anaerob*) dan titik keluaran limbah (*anaerob effluent*). Pengukuran pada suhu diukur secara langsung di Lapangan, alat yang digunakan dalam pengukuran pH adalah pH meter dan alat yang digunakan untuk pengukuran suhu adalah thermometer.

Selanjutnya, metode pengukuran COD, sampel limbah yang telah diambil dilakukan preparasi di Laboratorium. Sampel COD yang dilakukan pengukuran adalah sampel raw POME. Sampel dilakukan pengenceran dengan 100x pengenceran. Setelah dilakukan pengenceran, sampel dimasukkan kedalam reagen untuk dilakukan pemanasan selama 2 jam. Setelah itu, sampel didinginkan dan dilakukan pembacaan dengan menggunakan alat ukur COD meter. Beban harian COD dapat diukur menggunakan rumus:

$$\text{Beban COD} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right) = \frac{\text{Konsentrasi COD} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{Volume Effluent} (\text{m}^3)}{1000}$$

Keterangan:

Kosentrasi COD: Kosentrasi COD dalam air limbah (mg/L)

Volume effluent: Volume air limbah harian (dalam m³)

(Pardede, 2024)

Pengukuran parameter selanjutnya adalah pengukuran produksi biogas yang diamati dengan besaran gas terbentuk atau masuknya gas ke dalam burner, yang dapat dilihat pada panel burner setiap hari selama 3 minggu dan pengukuran komposisi gas dilakukan dengan menggunakan alat biogas analyzer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis pH dan Suhu

pH dan suhu merupakan parameter penting dalam mengetahui kondisi bakteri bekerja dalam menghasilkan biogas. Hasil pengamatan PH dan Suhu dari ke- 4 titik sampling dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan pH dan Suhu

Titik Sampling	M1		M2		M3	
	PH	Suhu (°C)	PH	Suhu(°C)	PH	Suhu(°C)
Raw Pome	4.55	58.13	4.54	58.75	4.53	57.14
Cooling	6.21	43.18	5.90	47.94	5.61	47.08
Digester	7.17	37.34	7.04	38.62	7.01	38.72
Anaerobic effluent	7.17	37.66	7.13	38.60	7.06	38.52

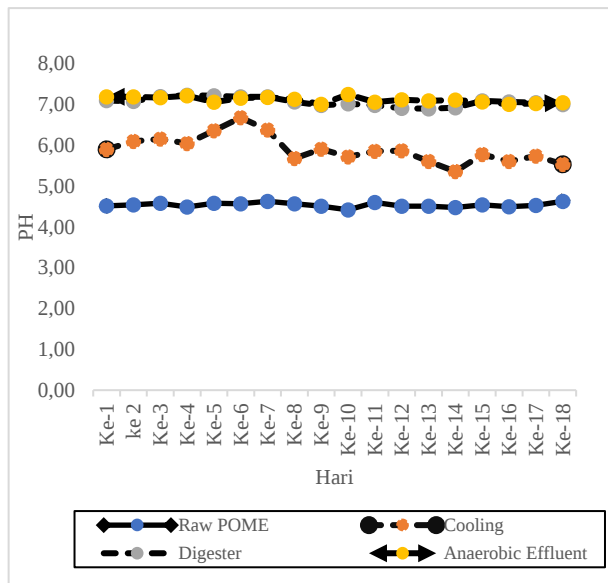
Keterangan: M 1 = Pengamatan Minggu 1; M2 = Pengamatan Minggu ke-2; M3= Pengamatan Minggu ke-3

Pada Tabel 1 masing-masing titik sampling dengan pengamatan selama 3 minggu memiliki perbedaan. Pada kondisi

limbah segar (*raw POME*) pH yang dihasilkan di rentang 4-5 dengan suhu rata-rata di 58 °C. Pada kondisi pendinginan pH meningkat di rentang 5-6 dengan suhu menurun rata-rata di 43 °C. Pada kondisi kolam digester pH yang dihasilkan netral sebesar 7 dengan kondisi suhu cenderung lebih rendah sebesar 37 °C, kondisi ini hampir sama dengan kondisi limbah keluaran dari kolam digester. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi pH mendekati normal suhu akan menurun. Hal ini sesuai dengan literatur Rezeki et al. (2021) menyatakan bahwa faktor utama dalam pembentukan biogas adalah derajat kemasaman (pH), hal ini dikarenakan aktivitas enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme dipengaruhi oleh nilai pH. Setiap peningkatan atau penurunan nilai pH akan berpengaruh pada perubahan sistem biologis. Pembentukan CH₄ dilakukan oleh bakteri yang aktif pada pH 7-9. Dalam hal ini pengaturan pH sangat diperlukan agar produksi biogas yang dihasilkan dapat maksimal (Pambudi et al., 2018)

Selain itu, hal ini juga menandakan bahwa bakteri yang bekerja dalam digester bekerja dengan baik. Bakteri yang berkerja dalam digester tergolong dalam bakteri mesofilik, bakteri tersebut merupakan bakteri untuk menghasilkan gas metan. Bakteri mesofilik ini hidup dengan kondisi suhu dan pH optimum berada pada suhu dibawah 40 °C. Hal ini sesuai dengan

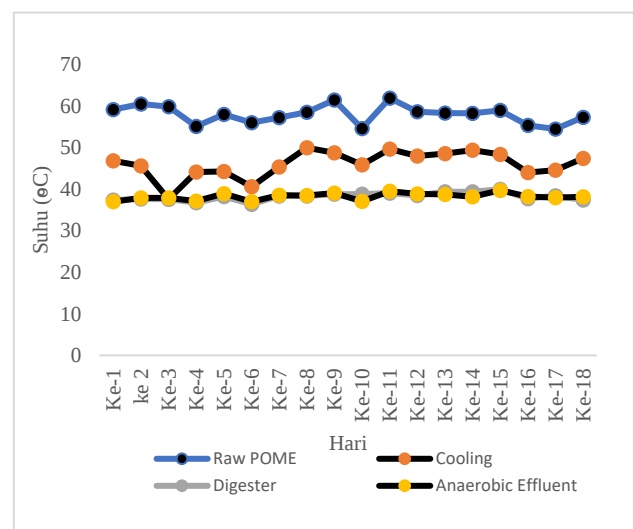
literatur Irawan dan Ridhuan (2016) bahwa bakteri mesofilik bekerja pada suhu 20-45 °C. Menurut Irawan dan Khudori (2025) bahwa terdapat tiga kelompok bakteri yang berperan penting dalam proses pembentukan biogas yaitu bakteri fermentatif, bakteri asetogenik dan bakteri metanogen.



Gambar 2. Pengamatan Harian pH

Gambar 2 menunjukkan pengamatan harian pH, pada raw POME cenderung lebih stabil di posisi pH hari ke-4 dibandingkan dengan pH pada titik sampling di kolam pendingin atau *cooling* yang lebih fluktuatif. Pada hari ke-6 pH pada cooling cenderung meningkat kemudian turun kembali di posisi 6. Sementara pada titik sampling digester dan *anaerob effullent* pH cenderung sama mulai dari hari ke-1 sampai dengan hari ke-18. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri sudah mulai beradaptasi dan berkembang pada kolam

digester. Menurut Rezeki et al. (2021) bahwa dalam produksi biogas terdapat reaksi hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metagenesis. Bersamaan dengan proses pengembangbiakan bakteri maka proses pembusukan bahan organik menjadi bentuk substrat akan lebih efektif. Hal ini juga sesuai dengan Babei dan Shayegen (2019) menyatakan bahwa perubahan gas metan berhubungan dengan fase produksi biogas yang bergantung pada nilai pH, pada metanogenesis berlangsung pada pH yang dipertahankan berkisar 7.6-8. Laju produksi biogas akan menurun jika pH dibawah 7.



Gambar 3. Pengamatan harian suhu

Gambar 3 menunjukkan bahwa suhu pengamatan harian dari ke-4 titik sampling, terlihat bahwa suhu pada titik sampling raw POME mulai dari hari ke-1 sampai dengan hari ke-18 menggambarkan sama di posisi 58°C-60°C. Suhu pada kolam pendingin mulai mengalami penurunan, sedangkan suhu pada

kolam digester tetap stabil. Suhu berperan dalam memengaruhi laju reaksi yang berlangsung di dalam digester. Pada penelitian ini, suhu dipertahankan di bawah 48°C. Hal tersebut disebabkan oleh bakteri penghasil metana, khususnya bakteri mesofilik, yang bekerja paling optimal pada rentang suhu 30-40°C. Produksi gas metana mulai menurun pada suhu 20°C dan berhenti pada suhu 10°C. Jika terjadi peningkatan suhu, mikroorganisme akan menjadi lebih aktif dan mampu berkembang biak sehingga proses penguraian material organik dapat berlangsung 2 hingga 3 kali lebih cepat.

2. Analisis Kandungan Nilai COD, Produksi Metana dan Produksi Biogas

Chemical oxygen demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi semua bahan organik dan anorganik secara kimia. Pengukuran COD berhubungan dengan potensi gas metan yang dihasilkan dan produksi biogas yang dihasilkan. Pada penelitian ini kandungan nilai COD, produksi metana dan produksi biogas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai COD, produksi CH₄ dan produksi biogas

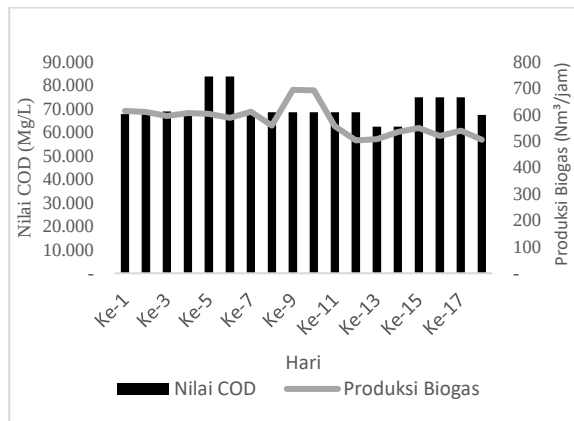
Parameter	Satuan	M1	M2	M3
Nilai COD	Mg/L	73,533	51,450	69,583
Beban COD	Kg/hr	23,609	22,569	27,628
Produksi CH ₄	m ³	8,263	7,899	9,670
Produksi Biogas	Nm ³ /jam	604	603	527

Keterangan: M 1 = Pengamatan Minggu 1; M2 = Pengamatan Minggu ke-2; M3= Pengamatan Minggu ke-3

Tabel 2 menunjukkan pengamatan nilai COD dari minggu 1 sampai minggu ke -3. Hasil nilai COD pada minggu ke-1 lebih tinggi dibandingkan dengan minggu ke 2 dan minggu ke 3. Hal ini dikarenakan umpan atau *raw pome* yang masuk kedalam digester memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi. Tinggi rendahnya nilai COD yang diperoleh menunjukkan besar kecilnya beban bahan organik dalam sampel. Nilai COD yang rendah mengindikasikan bahwa bahan organik telah terdegradasi oleh aktivitas bakteri, sedangkan nilai COD yang tinggi menunjukkan kandungan bahan organik yang masih besar. Menurut Ahmad et al. (2010), nilai COD pada umumnya menurun seiring dengan meningkatnya laju pembebanan organik. Penurunan nilai COD menandakan bahwa mikroorganisme bekerja secara optimal, sehingga proses penyisihan dapat berlangsung dengan baik dalam mendegradasi senyawa organik pada limbah cair. Berdasarkan hasil penelitian minggu pertama beban bahan organik rerata sebesar 23.609 kg/hari, minggu ke dua rerata 22.569 kg/hari dan minggu ke tiga rerata sebesar 27.628 kg/hari. Hal ini juga menunjukkan bahwa besar kemungkinan efisiensi COD *removal* tertinggi pada minggu kedua kemudian menurun pada minggu ke-3.

Produksi metana yang dihasilkan berturut sebesar 8.263 m³, 7.899 m³ dan 9.670 m³. Pada produksi biogas yang dihasilkan berturut dari minggu ke-1 sampai dengan minggu ke-3 sbesar 604 Nm³/jam, 603 Nm³/jam dan 527

Nm^3/jam . Hal ini menunjukkan dari ketiga parameter tersebut minggu pertama lebih tinggi dibandingkan minggu ke-2 dan minggu ke-2 lebih rendah dibandingkan minggu ke-3 baik pada nilai COD, produksi metana dan produksi biogas.



Gambar 3. Hubungan nilai COD dengan produksi biogas

Hubungan nilai COD dengan produksi biogas dapat terlihat pada Gambar 3. Pada pengamatan hari ke 5 dan ke 6 nilai COD cenderung meningkat akan tetapi produksi biogas cenderung menurun, dan pada hari ke-8 sampai ke-11 nilai COD normal, akan tetapi produksi biogas cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri yang menghasilkan bogas sudah terakumulasi sehingga nilai produksi biogas cukup stabil diatas $500 \text{ Nm}^3/\text{jam}$. Hasil biogas ini langsung dimanfaatkan sebagai bahan bakar *cofiring* boiler. Menurut Lewar et al. (2010) hubungan COD dengan produksi biogas bahwa nilai COD menunjukan jumlah bahan organik yang dapat didegradasi. Bahan

organik berperan sebagai bahan baku utama dalam proses pembentukan biogas, karena senyawa-senyawa di dalamnya akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi gas metana dan karbon dioksida.

Nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) mencerminkan jumlah bahan organik yang tersedia dalam substrat. Apabila nilai COD pada tahap awal cukup tinggi, hal tersebut menunjukkan bahwa bahan organik yang menjadi sumber makanan bagi bakteri juga melimpah. Kondisi ini secara teori akan meningkatkan potensi produksi biogas, karena semakin banyak substrat yang dapat didegradasi oleh bakteri, semakin besar pula gas yang dihasilkan. Namun demikian, tingginya nilai COD tidak selalu memberikan dampak positif. Jika kadar COD terlalu tinggi, dan tidak diimbangi dengan ketersediaan nutrisi, pengaturan pH, serta suhu operasi yang stabil, maka proses pencernaan anaerob dapat terganggu. Ketidakseimbangan kondisi ini sering berujung pada penumpukan asam-asam organik di dalam digester. Akumulasi asam tersebut menyebabkan penurunan pH yang dapat menghambat aktivitas bakteri metanogen, yaitu kelompok bakteri yang bertanggung jawab pada tahap akhir pembentukan biogas. Ketika proses metanogenik terganggu, degradasi bahan organik tidak berlangsung optimal. Hal ini berdampak pada efisiensi

penyisihan COD yang menjadi menurun dan pada akhirnya menyebabkan produksi biogas ikut menurun.

Dengan demikian, keseimbangan kondisi operasi sangat penting untuk memastikan bahwa nilai COD tinggi dapat dimanfaatkan secara maksimal tanpa menimbulkan gangguan pada proses pembentukannya.

3. Analisis Komposisi Gas

Komposisi gas merupakan proporsi berbagai jenis gas dalam suatu campuran seperti udara atau gas alam. Hasil penelitian ini komponen gas antara lain metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), Oksigen (O_2) dan Asam sulfida (H_2S). Hasil penelitian komposisi gas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Gas

Parameter	Satuan	M1	M2	M3
CH_4	%	60.7	60.3	58.5
CO_2	%	37.3	37.6	38.4
O_2	%	0.1	0.1	0.1
H_2S	ppm	1400	1538	1686

Keterangan: M 1 = Pengamatan Minggu 1; M2 = Pengamatan Minggu ke-2; M3= Pengamatan Minggu ke-3

Tabel 3 menunjukkan komposisi gas CH_4 memiliki komposisi gas paling tinggi dibandingkan dengan gas yang lain. Komposisi gas pada minggu-1 CH_4 sebesar 60.7%, minggu ke-2 60.3% dan minggu ke-3 sebesar 58.5%. Pada CO_2 hasil pengamatan minggu ke1 sampai dengan minggu ke-3 berturut sebesar 37.3%, 37.6% dan 38.4%.

Komponen gas O_2 minggu ke-1 sampai dengan minggu ke-2 cenderung konstan di 0.1%. Selanjutnya pada kompoenen gas H_2S mengalami peningkatan pada minggu ke1 sebesar 1400 ppm, minggu ke-2 sebesar 1538 ppm dan minggu ke-3 sebesar 1686 ppm. Fahriansyah et al. (2019) menjelaskan bahwa proses produksi biogas yang dilakukan dalam sistem tertutup mampu menghasilkan gas metana dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi. Sistem tertutup memberikan kondisi yang stabil dan terkontrol, sehingga mikroorganisme dapat bekerja secara optimal dalam menguraikan bahan organik dan menghasilkan metana.

Berdasarkan hasil penelitian yang dibahas, kadar oksigen tercatat hanya sekitar 0,1%. Nilai oksigen yang sangat rendah ini menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung dengan baik dan kondisi anaerob tetap terjaga. Hal tersebut juga menandakan bahwa biogas yang terbentuk memiliki kualitas yang baik, aman digunakan, serta memiliki nilai energi yang tinggi. Dengan demikian, komposisi gas yang dihasilkan tidak hanya mencerminkan kualitas sistem pengolahan, tetapi juga menjadi indikator penting untuk menilai efektivitas proses pembentukan biogas secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap berbagai parameter pembentukan biogas, dapat disimpulkan bahwa kondisi

optimum untuk proses tersebut berada pada rentang pH 6,9-7,3. Rentang pH ini menggambarkan lingkungan yang ideal bagi aktivitas bakteri penghasil metana. Suhu proses juga berada pada kisaran 36,40 °C hingga 40 °C, yang menunjukkan bahwa fase B. metanogenesis didominasi oleh bakteri mesofilik, yaitu bakteri yang bekerja efektif pada suhu tidak melebihi 40 °C.

Selain itu, nilai COD tercatat berada pada kisaran 51.450-73.533 mg/L. Berdasarkan kondisi tersebut, produksi biogas yang dihasilkan berada pada rentang 505,77-664,5 Nm³/jam. Komposisi gas yang terbentuk menunjukkan rata-rata kadar metana (CH₄) sebesar 59.8%, karbon dioksida (CO₂) sebesar 37.75%, dan oksigen (O₂) sebesar 0.1%. Adapun kadar H₂S rata-rata mencapai 1.541.3ppm. Dari komposisi ini, terlihat bahwa metana merupakan komponen gas yang paling dominan dibandingkan gas-gas lainnya, sehingga menunjukkan kualitas biogas yang cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. S. dan M. Atikalidia. 2020. Penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia” Kejuangan”. Pp A03-1:8.
- Alpandari, H dan T. Prakoso. 2021. Tindakan Pengembalian Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Upaya Memaksimalkan *Zero Waste*. *Journal of Agribusiness and Agrotechnology*. Vol 2, No 2. Pp : 48-58
- Sucahyo. 2019. Kajian Teknologi Pemanfaatan Biogas Pome (*Palm Oil Mill Effluent*) ke Boiler. M.I.P.I, vol. 13 No 1.Pp. 43–54.
- Babaei, A. dan J. Shayegan. 2019. *Effect of Temperature and Mixing Modes on the Performa of Municipal Solid Waste Anaerobic Slurry Digester*. *Journal of Enviromental Health Science and Engineering*. 17. Pp: 1077-1084. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00422-6>
- Darmawan, M. W. Ajiwibowo, F. Anggoro Cahyo, M. Aziz, and K. Tokimatsu. 2019. *Co-production of Hydrogen and Power from Palm Mill Wastes*. *Energy Procedia*. vol. 158, pp. 1891-1896.
- Fagbohunge, Michael O., Herbert, Ben M.J., Hurst, Lois., Ibeto, Cynthia N., Li, Hong., Usmani, Shams Q., Semple, Kirk T. 2017. *The Challenges of Anaerobic Digestion and The Role of Biochar In Optimizing Anaerobic Digestion*. *Waste Management*. 61.pp: 236–24.
- Fahriansyah, Sriharti dan M. Andrianto. 2019. Peningkatan Gas Metana dan Nilai Kalori Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Metode Tiga Lapis Adsorpsi Bahan Padat. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. Vol 13. No. 2. Pp 182-191.

- Irawan, D dan Ridhuan. K., 2016. Pengaruh Temperatur Mesofilik Terhadap Laju Aliran Dan Uji Nyala Api Menggunakan Bahan Baku limbah Kolam Ikan Gurame. Jurnal Teknik Mesin Uni. Muhammadiyah Metro. Turbo. Vol 5 : (2) pp: 77-81.
- Irawan, D., & Khudori, A. 2015. Pengaruh Suhu Terhadap Hasil Anaerobik Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Kolam Ikan Gurame. TURBO (Jurnal Teknik Mesin). 4(1).
- Lewar, Y. S., H. Herawati dan A. Abdul Kahar. 2020. Pengaruh Temperatur COD, BOD dan VFA pada Pengolahan Limbah Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) dalam Bioreaktor Anaerobik. Jurnal Chemurgy. Vol 4. No. 2. Pp : 8-14.
- Pambudi, S., Kirom, M.R., dan Suhendi, A. (2018). Pengaruh Kadar Keasaman (pH) terhadap Produksi Biogas dengan Menggunakan Campuran Kotoran Hewan Dan Substrat Kentang Busuk Pada Reaktor Anaerob. Proceeding of Engineering. Vol.5(3).pp:5770-5776.
- Pangarso, S. S dan E. Kusdiyantini. 2022. Riview Potensi Pemanfaatan Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit PTPN 5. Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Material and Energi. JMEMME. Vol 6:1. Pp 18-31. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v6i1.6298>.
- Pardede, E. 2024. Perhitungan Kadar COD Pada Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Metode Spektrofotometri di PT Socfin Indonesia Bangun Bandar. Jurnal Agro Industri dan Agroekoteknologi. Vol 3 No.2.
- Rezeki, s. W. D. Ivontianti, A. Khairullah. 2021. Optimasi Temperatur Pada Produksi Biogas dari Limbah Rumah Makan di Kota Pontianak. Jurnal Energi, Manufaktur dan Material. Vol 5: (1) pp: 32-38.
- Sri Rahayu, D. Karsiwulan, H. Yuwono, I. Trisnawati, S. Mulyasari, S. Rahardjo, S. Hokernin, V. Paramita. 2018. Handbook: POME-to-Biogas (Project Development in Indonesia). Diakses dari: <http://www.winrock.org>
- Widarti, B. N., S. H. Seusetyo dan E. Sarwono. 2015. Degrdasi COD Limbah Cair Dari Pabrik Kelapa Sawit Dalam Proses Pembentukan Biogas. Jurnal Integrasi Proses. Vol 5 No 3. PP: 138-141.
- Wiharja, W., W. S. Winanti, P. Prasetyadi dan A. I. Sitomurni. 2021. Produksi Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Reaktor Unggun Tetap Tanpa Proses Pretreatment. Jurnal Teknologi Lingkungan. Vol 22. No 1. Pp : 078-084. <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i1.3250>
- Winanti, W. S., P. Prasetyadi dan W. Wiharja. 2019. Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) menjadi Biogas Dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed Tanpa Proses Netralisasi. Jurnal Teknologi Lingkungan. 20 (1): 143.