

Biogas dari POME: Pengaruh Lingkungan Terhadap Produksi Energi Terbarukan di Industri Kelapa Sawit

Said Zul Amraini^{a*}, Muhammad Aidil^a, Samuel Pati Senda^b, Yoneco Harefa^c,
Syamsu Herman^a

^aDepartment of Chemical Engineering, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, Indonesia

^bNational Research and Innovation Agency (BRIN), Puspiptek Serpong, Indonesia

^cPT Perkebunan Nusantara IV *Palmco* Regional III, Sei Pagar, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Received : 01-11-2024

Accepted : 24-11-2024

Published : 25-11-2024

KEYWORDS

POME

Biogas

Temperature

Flow rate

Methane

*corresponding author:

Email: saidzulamraini@eng.unri.ac.id



ABSTRACT

Palm oil mill effluent is a type of organic agro-industrial waste from the by-product of the processing of fresh oil palm fruit bunches to produce Crude Palm Oil. The management of POME as biogas is an added value for companies to meet the needs of energy sources in the Palm Oil Mill, both for Crude Palm Oil, Kernel Crushing Plant, and domestic needs as a source of electrical energy. POME is a colloidal suspension containing 95-96% water, 0.6-0.7% oil and 4-5% fat and total solids. Anaerobic degradation of POME is the main stage in the biogas production process at the Sei Pagar Palm Oil Factory. The ambient temperature was measured at 08.00, 13.00, and 18.00 for 11 days of testing. To analyze the effect of ambient temperature on sample temperature, a sample temperature test was carried out using a pH meter for each ambient temperature test. To analyze the impact of ambient temperature on the flow rate of gas produced and methane content in biogas, the sensor flow rate was checked with the valve at the reactor outlet fully open. The ambient temperature of the reactor does not change the sample temperature because the temperature in the reactor is controlled by the feed entering the reactor. The average temperature of the reactor environment is lower than the reactor so that it does not affect the gas flow rate (biogas formation process). The average temperature of the reactor environment is lower than the reactor temperature so that it does not affect the formation of methane.

1. PENDAHULUAN

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) atau *palm oil mill effluent* (POME) merupakan salah satu jenis limbah organik agroindustri berupa air, minyak dan padatan organik yang berasal dari hasil samping proses pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit untuk menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO). Proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit (CPO) akan menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang cukup besar. Jika limbah tersebut dibuang langsung ke perairan, maka dapat mencemari lingkungan sekitar, dapat menimbulkan kekeruhan dan menghasilkan bau tajam yang dapat merusak ekosistem perairan dikarenakan proses penguraiannya yang lama dan cenderung akan mengonsumsi oksigen terlarut dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu perlu adanya penanganan agar sesuai dengan baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh badan lingkungan hidup (Syaifullah Z., 2021).

Pengelolaan POME sebagai biogas menjadi nilai tambah bagi perusahaan untuk memenuhi kebutuhan sumber energi di Pabrik Kelapa Sawit, baik untuk *Crude Palm Oil* (CPO), *Kernel Crushing Plant* (KCP), maupun keperluan domestik sebagai sumber energi listrik. Pemanfaatan POME sebagai biogas ini tidak hanya sebagai sumber energi listrik. Namun juga dapat digunakan sebagai bahan bakar gas, terutama untuk *boiler*. Pengelolaan POME sebagai biogas memberikan nilai tambah bagi perusahaan karena dapat memenuhi kebutuhan energi di Pabrik Kelapa Sawit.

Baik untuk Crude Palm Oil (CPO), Kernel Crushing Plant (KCP), maupun untuk keperluan domestik sebagai sumber energi listrik. Selain itu, pemanfaatan POME sebagai biogas tidak terbatas pada penyediaan energi listrik, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas, terutama untuk boiler. Gas metana yang dihasilkan dari biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler (boiler burner), sehingga mengurangi penggunaan cangkang sawit sebagai bahan bakar boiler. Dengan demikian, cangkang sawit tersebut dapat dijual, memberikan keuntungan tambahan bagi perusahaan (Rachmat & Mondamina, 2023).

Keberhasilan produksi biogas sangat dipengaruhi oleh kinerja berbagai bakteri di dalam reaktor Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) (Gambar 2). Agar konversi metana optimal, parameter-parameter standar harus terpenuhi untuk memastikan produksi biogas dalam reaktor berjalan dengan efisien. Salah satu faktor yang penting adalah pengaruh temperatur lingkungan terhadap proses fermentasi anaerobik. Oleh karena itu, dilakukan analisis dan evaluasi terhadap pengaruh temperatur lingkungan pada reaktor CSTR terhadap proses produksi gas. Limbah cair kelapa sawit dari PKS PT Perkebunan Nusantara IV Palmco Regional III dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Limbah cair (POME) PKS PTPN IV *Palmco* Regional III
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Temperatur memainkan peran krusial dalam aktivitas bakteri anaerobik. Menurut penelitian (Feng, 2008), bakteri anaerobik menunjukkan efisiensi optimal dalam menghasilkan biogas pada suhu tertentu. Perubahan temperatur yang tidak sesuai dapat menurunkan aktivitas mikroba dan menghambat produksi biogas. Optimalisasi suhu dalam proses fermentasi sangat penting, karena dapat mempengaruhi laju reaksi biokimia dan keberlangsungan hidup mikroorganisme yang terlibat. Suhu yang ideal biasanya berkisar antara 30 hingga 40°C, dimana bakteri anaerobik dapat berfungsi dengan baik dan memaksimalkan produksi energi dari limbah organik. Suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat metabolisme bakteri, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim dan kematian sel.

Pengaturan suhu yang tepat sangat penting untuk mencapai hasil yang diinginkan dalam proses fermentasi, karena dapat meningkatkan efisiensi konversi limbah organik menjadi biogas. Dengan pengaturan suhu yang optimal, proses fermentasi tidak hanya menjadi lebih efisien tetapi juga meningkatkan kualitas biogas yang dihasilkan, sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal sebagai sumber energi terbarukan (Hupfauf dkk., 2018). Proses ini juga dapat membantu

mengurangi emisi gas rumah kaca, menjadikannya solusi yang ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah.



Gambar 2. *Continuous Stirred Tank Reaktor (CSTR)*
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan air limbah dari industri kelapa sawit dan merupakan salah satu limbah agroindustri yang berbahaya bagi lingkungan. POME merupakan suspensi koloid yang mengandung 95-96% air, 0,6-0,7% minyak dan 4-5% lemak dan padatan total. Pada industri kelapa sawit, cairan awal biasanya diproduksi melalui proses sterilisasi dan klarifikasi, yang sebagian besar berasal dari *steam* dan air panas yang digunakan. Produksi kelapa sawit membutuhkan air dalam jumlah besar. Karakteristik limbah cair pada POME dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Limbah Cair POME

| Parameter | Satuan | Kisaran |
|---------------------------------------|--------|-----------------|
| <i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i> | mg/L | 20.000 – 30.000 |
| <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i> | mg/L | 40.000 – 60.000 |
| <i>Total Suspended Solid (TSS)</i> | mg/L | 15.000 – 40.000 |
| <i>Total Solid (TS)</i> | mg/L | 30.000 – 70.000 |
| Minyak dan Lemak | mg/L | 5.000 – 7.000 |
| NH ₃ -N | mg/L | 30 – 40 |
| Total N | mg/L | 500 - 800 |
| Suhu | °C | 90 - 140 |
| pH | | 4 - 5 |

Sumber: Perdana, 2024

Degradasi anaerobik POME adalah tahapan utama pada proses produksi biogas di PKS Sei Pagar. Proses degradasi anaerobik merupakan proses fermentasi bahan organik oleh aktivitas bakteri anaerob pada kondisi tanpa oksigen bebas dan merubahnya dari bentuk tersuspensi menjadi terlarut dan biogas

Tahap fermentasi anaerobik dapat digolongkan menjadi empat tahapan reaksi, yaitu :

1. Hidrolisis

Tahap pertama melibatkan transformasi enzimatik dari bahan organik yang tidak larut dan senyawa dengan massa molekul tinggi, seperti lipid, polisakarida, protein, lemak, dan asam nukleat. Senyawa ini diubah menjadi bahan organik terlarut yang cocok untuk digunakan sebagai sumber energi, seperti monosakarida, asam amino, dan senyawa organik sederhana lainnya. Proses ini disebut hidrolisis dan dilakukan oleh bakteri anaerob ketat, seperti *Bacteroides*, *Clostridia*, serta bakteri fakultatif seperti *Streptococci* (Ramaraj & Unpaprom, 2016).

2. Asidogenesis

Langkah kedua yaitu asidogenesis di mana asam amino, sakarida dan asam lemak diubah menjadi *volatile fatty acids* (VFA) seperti asetat, butirrat, propionat, atau ke dalam asam organik lainnya, seperti laktat, atau dalam alkohol, yaitu etanol, butanol, di hadapan mikroorganisme fermentasi seperti *Clostridium sp.* (Cazier dkk., 2015). Dalam asidogenesis, produk dari hidrolisis: peptida, sakarida, dan asam lemak diubah menjadi molekul yang lebih sederhana yang memiliki berat molekul rendah seperti alkohol asam organik, karbon dioksida, hidrogen, dan amonium.

3. Asetogenesis

Langkah asetogenesis adalah oksidasi produk-produk non-gas dari asidogenesis menjadi asetat, hidrogen, atau format, serta karbon dioksida. Proses ini merupakan proses endergonik (Detman dkk., 2018). Pada tahap ini, produk difermentasi dioksidasi menjadi bentuk yang lebih sederhana. Langkah ini memerlukan kerja sama yang erat antara mikroba yang melakukan oksidasi dan metanogen, yang aktif dalam tahap berikutnya. Substrat untuk asetogenesis terdiri dari berbagai asam lemak, alkohol, beberapa asam amino dan aromatik.

4. Metanogenesis

Langkah terakhir dalam produksi biometana, metanogenesis. Pada fase metanogenik, produksi metana dan karbon dioksida dari produk antara dilakukan oleh bakteri metanogenik di bawah kondisi anaerobik yang ketat. Metanogenesis merupakan langkah penting dalam proses digestasi anaerobik karena merupakan reaksi biokimia yang paling lambat dari proses (Adekunle & Okolie, 2015).

Proses ini dilakukan oleh sekelompok mikroorganisme khusus yang termasuk dalam domain archaea, yang disebut metanogen. Ada tiga jenis metanogen yang dikenal: acetoclastic, *hydrogenotrophic*, dan *methylotrophic*. Metanogen acetoclastic mengubah asetat menjadi CH_4 dan CO_2 , metanogen *hydrogenotrophic* menggunakan H_2 atau format untuk mengurangi CO_2 menjadi CH_4 , dan metanogen *methylotrophic* menghasilkan CH_4 dari senyawa metil, seperti metanol, metilamin, dan metilsulfida. Dalam *anaerobic digester* (AD), sekitar 70% CH_4 dihasilkan dari asetat, dan sisanya dari H_2 dan CO_2 . Hanya sebagian kecil CH_4 yang dihasilkan melalui metanogenesis *methylotrophic* (Venkiteshwaran dkk., 2015).

Biogas terbentuk ketika mikroorganisme, khususnya bakteri, menurunkan komposisi zat organik pada kondisi anaerob (tanpa oksigen). Biogas terdiri dari 50% sampai 75% metana (CH_4), 25% sampai 45% karbon dioksida (CO_2) dan sejumlah kecil gas lainnya. Komposisi biogas ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Biogas

| Unsur | Rumus | Konsentrasi (%Volume) |
|------------------|------------------|-----------------------|
| Metana | CH ₄ | 50–75 |
| Karbon dioksida | CO ₂ | 25–45 |
| Uap air | H ₂ O | 2–7 |
| Oksigen | O ₂ | < 2 |
| Nitrogen | N ₂ | < 2 |
| Hidrogen Sulfida | H ₂ S | < 2 |
| Amonia | NH ₃ | < 1 |
| Hidrogen | H ₂ | < 1 |

Sumber: Hidayah, 2018

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel POME (*Palm Oil Mill Effluent*) yang diambil dari unit pengolahan limbah cair di Pabrik Kelapa Sawit PT Perkebunan Nusantara IV, Palmco Regional III. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi termometer untuk pengecekan temperatur lingkungan, pH meter untuk pengecekan sampel, serta *flow meter* untuk mengukur laju alir gas dan komposisi metana. Jenis reaktor yang digunakan adalah *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Persiapan bahan baku (POME) dilakukan di beberapa unit proses, yaitu *fat pit*, *equalization tank*, *cooling tower*, dan *buffer tank*.

2.2. Prosedur Penelitian

Pengujian temperatur lingkungan reaktor dilakukan dengan menempatkan alat uji temperatur, yaitu termometer digital, di sekitar reaktor. Temperatur lingkungan diukur pada pukul 08.00, 13.00, dan 18.00 setiap hari selama 11 hari masa pengujian. Untuk menganalisis pengaruh temperatur lingkungan terhadap temperatur sampel, setiap pengukuran temperatur lingkungan disertai dengan pengujian temperatur sampel menggunakan pH meter.

Pengujian temperatur sampel dilakukan dengan membuka katup (*valve*) pada reaktor, kemudian menampung sampel yang diambil. Selanjutnya, pengecekan temperatur sampel dilakukan menggunakan pH meter untuk memastikan kesesuaian data. Pengujian laju alir gas yang diproduksi serta komposisi gas metana yang terkandung dalam biogas dilakukan setiap melakukan pengujian temperatur lingkungan dan sampel. Untuk menganalisa pengaruh temperatur lingkungan terhadap laju alir gas yang diproduksi dan komposisi metana dalam biogas, *flow meter* (laju alir sensor) dicek dengan kondisi *valve* pada *output* keluaran reaktor terbuka sepenuhnya. Perhitungan *Hydraulic Retention Time* menggunakan persamaan berikut:

$$\text{HRT (hari)} = \frac{\text{Volume Digester (m}^3\text{)}}{\text{Debit POME (}\frac{\text{m}^3}{\text{hari}}\text{)}} \quad (1)$$

Keterangan: debit POME (m³/hari) = debit POME per jam x 24.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Temperatur Lingkungan dan Temperatur Sampel

Hasil pengujian temperatur lingkungan dan temperatur sampel dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Temperatur Lingkungan dan Temperatur Sampel

| Hari ke | Tanggal | Jam | Temperatur Lingkungan (°C) | Temperatur Sampel (°C) |
|---------|-------------------|-------|----------------------------|------------------------|
| 1 | 2 September 2024 | 08.00 | 29 | 36 |
| | | 13.00 | 37,5 | 36,3 |
| | | 18.00 | 32 | 35,9 |
| 2 | 3 September 2024 | 08.00 | 23,8 | 35,7 |
| | | 13.00 | 34 | 36,7 |
| | | 18.00 | 30 | 35,9 |
| 3 | 4 September 2024 | 08.00 | 25 | 35,7 |
| | | 13.00 | 30 | 36,1 |
| | | 18.00 | 29 | 35,9 |
| 4 | 5 September 2024 | 08.00 | 28,9 | 35,1 |
| | | 13.00 | 30 | 36,2 |
| | | 18.00 | 29 | 36,2 |
| 5 | 6 September 2024 | 08.00 | 29 | 36,5 |
| | | 13.00 | 32 | 36,8 |
| | | 18.00 | 30 | 36,6 |
| 6 | 7 September 2024 | 08.00 | 29 | 36,2 |
| | | 13.00 | 35 | 37,1 |
| | | 18.00 | 30 | 37 |
| 7 | 9 September 2024 | 08.00 | 28,8 | 36,3 |
| | | 13.00 | 28,2 | 36,1 |
| | | 18.00 | 29,7 | 36,6 |
| 8 | 10 September 2024 | 08.00 | 25 | 36,2 |
| | | 13.00 | 32 | 36,7 |
| | | 18.00 | 30 | 36,7 |
| 9 | 11 September 2024 | 08.00 | 26,5 | 36,6 |
| | | 13.00 | 33 | 36,8 |
| | | 18.00 | 27 | 36,4 |
| 10 | 12 September 2024 | 08.00 | 25 | 36,2 |
| | | 13.00 | 31,4 | 36,4 |
| | | 18.00 | 29,3 | 36,3 |
| 11 | 13 September 2024 | 08.00 | 25 | 35,8 |
| | | 13.00 | 37 | 36,9 |
| | | 18.00 | 30 | 36,6 |

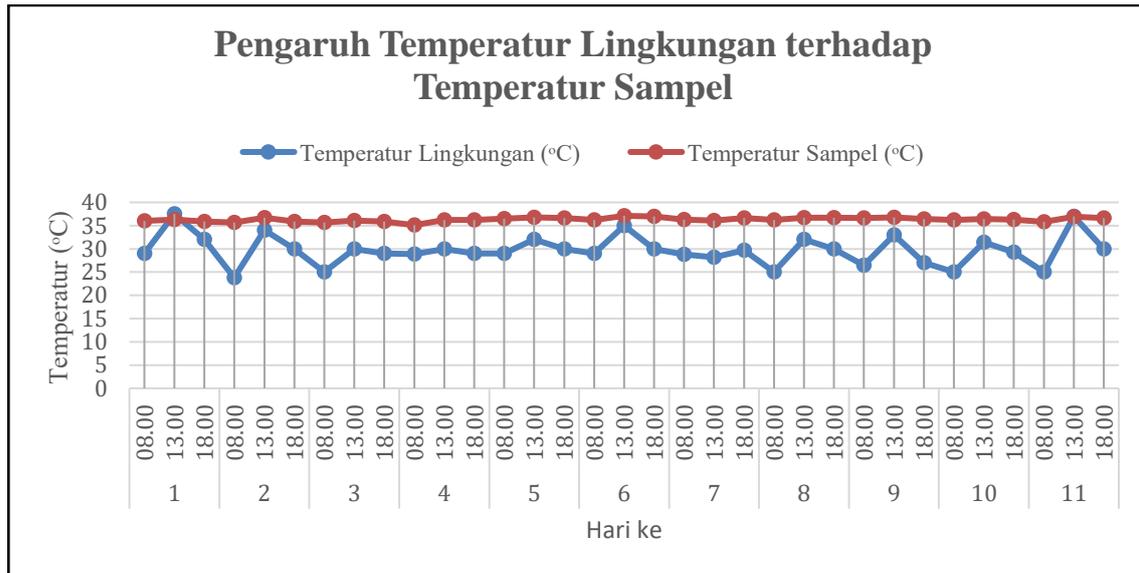
Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa temperatur lingkungan bervariasi sepanjang waktu pengujian. Pada hari ke-1, temperatur lingkungan pada pukul 08.00 adalah 29°C, sedangkan temperatur sampel reaktor tercatat 36°C. Pada pukul 13.00, temperatur lingkungan naik secara signifikan menjadi 37,5°C, dan temperatur sampel reaktor juga meningkat menjadi 36,3°C. Selanjutnya, pada pukul 18.00, temperatur lingkungan turun ke 32°C, dan temperatur sampel tetap relatif stabil pada 35,6°C.

Fenomena ini dapat dijelaskan oleh sifat eksotermis dari proses anaerobik, yang menghasilkan panas internal dalam reaktor, sehingga temperatur sampel cenderung lebih tinggi daripada temperatur lingkungan, terutama saat ada perubahan mendadak pada suhu lingkungan.

Pada hari ke-2, temperatur lingkungan pada pukul 08.00 tercatat 23,8°C, dan temperatur sampel reaktor 35,7°C. Kemudian, pada pukul 13.00, terjadi kenaikan temperatur lingkungan menjadi 34°C, diikuti oleh kenaikan temperatur sampel reaktor menjadi 36,7°C. Pada pukul 18.00,

temperatur lingkungan menurun kembali menjadi 30°C, sementara temperatur sampel tetap di sekitar 35,9°C.

Temperatur lingkungan memiliki pengaruh langsung pada dinamika temperatur sampel. Saat temperatur lingkungan meningkat, ada tambahan panas yang dapat mempercepat reaksi metabolik mikroorganisme di dalam reaktor, menyebabkan kenaikan temperatur sampel. Sebaliknya, penurunan temperatur lingkungan bisa menyebabkan pelepasan panas dari reaktor ke lingkungan. Hal ini didukung oleh penelitian (Dufault-Thompson dkk., 2022), yang menunjukkan bahwa perubahan temperatur lingkungan dapat mempengaruhi efisiensi proses anaerobik.



Gambar 3. Pengaruh Temperatur Lingkungan terhadap Temperatur Sampel dalam Reaktor CSTR

Pada hari-hari berikutnya, hasil pengujian menunjukkan pola yang serupa dengan hasil pengujian hari pertama dan kedua, yaitu setiap kenaikan temperatur lingkungan diikuti oleh kenaikan temperatur sampel. Namun, tidak semua perubahan temperatur lingkungan memiliki dampak yang sama terhadap temperatur sampel, karena ada faktor kontrol internal yang mempengaruhi stabilitas temperatur dalam reaktor.

Kenaikan dan penurunan temperatur sampel seperti yang ditampilkan pada grafik di Gambar 3 dapat dijelaskan oleh sistem kontrol operasional. Berdasarkan informasi dari operator, temperatur sampel dan umpan selalu dipantau dan diatur agar tetap stabil. Untuk proses fermentasi anaerobik, temperatur ideal yang harus dicapai berkisar antara 35°C hingga 40°C, yang dikenal sebagai kondisi mesofilik. Jika temperatur sampel turun di bawah batas tersebut, operator akan menambah volume POME di equalization tank dan mengalirkannya ke buffer tank untuk meningkatkan temperatur. Sebaliknya, jika terjadi kenaikan temperatur sampel yang melebihi 40°C, operator akan mengoperasikan cooling tower untuk menurunkan temperatur sesuai prosedur yang ditetapkan.

Kenaikan dan penurunan temperatur yang dikontrol melalui umpan baru dan *cooling tower* dilakukan agar terjadi perpindahan panas atau kalor dari umpan dengan temperatur yang terlalu tinggi ke umpan dengan temperatur yang terlalu rendah yang dicampur sampai temperatur umpan

mengalami kenaikan dan perpindahan panas dari umpan dengan temperatur yang terlalu tinggi ke udara yang dikipaskan oleh *cooling tower*. Perpindahan panas terjadi secara konveksi. Berdasarkan Rompas (2012), perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut. Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas.

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya. Dalam hal ini alirannya adalah aliran fluida maupun energi. Energi sebenarnya disimpan di dalam partikel-partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut.

3.2 Hasil Pengujian Temperatur Lingkungan dan Laju Alir Gas

Hasil pengujian temperatur lingkungan dan temperatur sampel dapat dilihat dari Tabel 4.

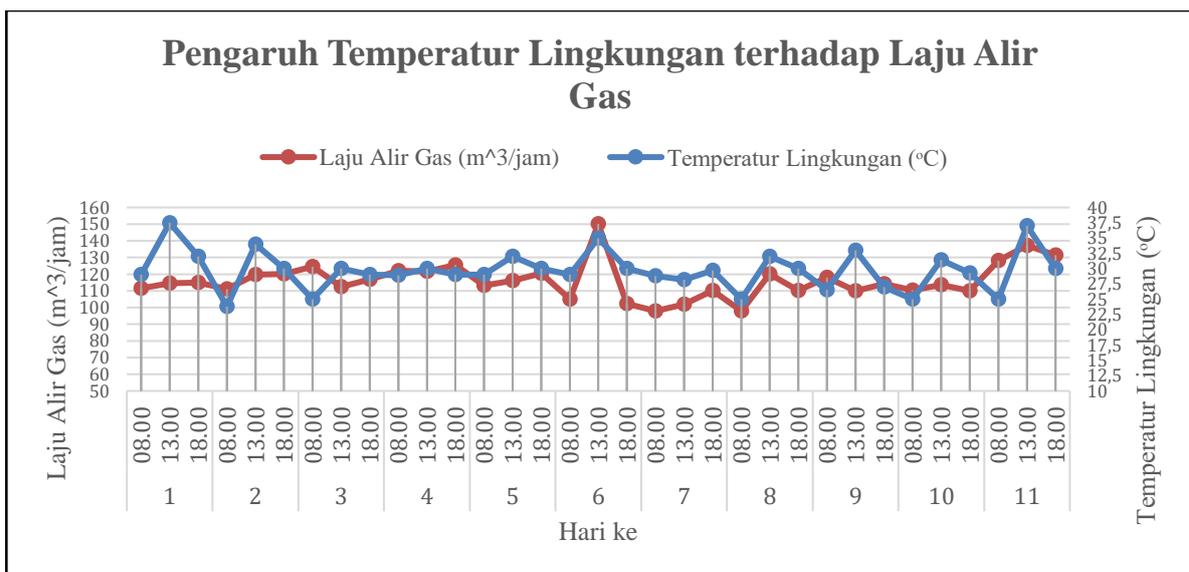
Tabel 4. Hasil Uji Temperatur Lingkungan dan Laju Alir Gas

| Hari ke | Tanggal | Jam | Temperatur Lingkungan (°C) | Laju Alir Gas (m ³ /jam) |
|---------|-------------------|-------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 September 2024 | 08.00 | 29 | 111,45 |
| | | 13.00 | 37,5 | 114,59 |
| | | 18.00 | 32 | 115,03 |
| 2 | 3 September 2024 | 08.00 | 23,8 | 111,06 |
| | | 13.00 | 34 | 119,78 |
| | | 18.00 | 30 | 120,09 |
| 3 | 4 September 2024 | 08.00 | 25 | 124,56 |
| | | 13.00 | 30 | 112,46 |
| | | 18.00 | 29 | 116,82 |
| 4 | 5 September 2024 | 08.00 | 28,9 | 121,99 |
| | | 13.00 | 30 | 121,69 |
| | | 18.00 | 29 | 125,47 |
| 5 | 6 September 2024 | 08.00 | 29 | 113,16 |
| | | 13.00 | 32 | 116,11 |
| | | 18.00 | 30 | 120,44 |
| 6 | 7 September 2024 | 08.00 | 29 | 105,04 |
| | | 13.00 | 35 | 150,13 |
| | | 18.00 | 30 | 102,32 |
| 7 | 9 September 2024 | 08.00 | 28,8 | 97,92 |
| | | 13.00 | 28,2 | 101,94 |
| | | 18.00 | 29,7 | 110,1 |
| 8 | 10 September 2024 | 08.00 | 25 | 97,99 |
| | | 13.00 | 32 | 120,18 |
| | | 18.00 | 30 | 110,16 |

| Hari ke | Tanggal | Jam | Temperatur Lingkungan (°C) | Laju Alir Gas (m ³ /jam) |
|---------|-------------------|-------|----------------------------|-------------------------------------|
| 9 | 11 September 2024 | 08.00 | 26,5 | 118,11 |
| | | 13.00 | 33 | 109,91 |
| | | 18.00 | 27 | 114,28 |
| 10 | 12 September 2024 | 08.00 | 25 | 110,43 |
| | | 13.00 | 31,4 | 113,62 |
| | | 18.00 | 29,3 | 110,05 |
| 11 | 13 September 2024 | 08.00 | 25 | 128,23 |
| | | 13.00 | 37 | 137,13 |
| | | 18.00 | 30 | 131,48 |

Hasil pengujian pengaruh temperatur lingkungan terhadap laju alir gas yang diproduksi reaktor CSTR dapat dilihat pada Tabel 4. Alat digunakan untuk pengujian adalah termometer untuk pengecekan temperatur lingkungan dan *flowmeter* (laju alir sensor) untuk pengecekan laju alir gas. Berdasarkan Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa antara temperatur lingkungan berubah-ubah setiap waktu pengujiannya. Pada hari ke-1, temperatur lingkungan jam 08.00 adalah 29°C dan laju alir gas adalah 111,45 m³/jam. Sedangkan pada jam 13.00 dengan temperatur lingkungan mengalami kenaikan menjadi 37,5°C dan laju alir gas mengalami kenaikan yaitu 114,59 m³/jam. Akan tetapi, pada jam 18.00 dengan temperatur lingkungan 32°C didapatkan laju alir gas sebesar 115,03 m³/jam. Berdasarkan hasil pengujian hari ke-1, dapat terlihat bahwa temperatur lingkungan tidak berpengaruh pada laju alir gas yang dihasilkan.

Pada hari ke-2, temperatur lingkungan jam 08.00 adalah 23,8°C dan laju alir gas adalah 111,45 m³/jam. Sedangkan pada jam 13.00 dengan temperatur lingkungan mengalami kenaikan menjadi 34°C dan laju alir gas mengalami kenaikan yaitu 114,59 m³/jam. Akan tetapi, sama seperti pengujian hari ke-1, pada jam 18.00 dengan temperatur lingkungan 30°C didapatkan laju alir gas sebesar 120 m³/jam. Berdasarkan hasil pengujian hari ke-2, dapat terlihat bahwa temperatur lingkungan juga tidak berpengaruh pada laju alir gas yang dihasilkan.



Gambar 4. Pengaruh Temperatur Lingkungan terhadap Laju Alir Gas yang diproduksi Reaktor CSTR

Pada pengujian hari-hari berikutnya, tidak terlihat pengaruh yang signifikan dari temperatur lingkungan terhadap laju alir gas yang dihasilkan, karena data yang dihasilkan tidak konsisten. Hal ini disebabkan oleh proses konversi POME menjadi biogas yang tidak berlangsung secara langsung dan bergantung pada dinamika mikroba yang membutuhkan waktu tertentu untuk mencapai kondisi optimal. Berdasarkan Prarancangan Pabrik Biogas dari POME dengan kapasitas 1.312.000 m³/tahun oleh Fitriani & Yuliani (2011), laju pembentukan biogas sebanding dengan kecepatan pertumbuhan mikroorganisme. Kecepatan ini dilaporkan sebesar 0,3334 g/L.jam, dengan waktu reaksi optimal yang ditemukan adalah 80,8874 jam.

3.3 Hasil Pengujian Temperatur Lingkungan dan Komposisi CH₄

Hasil pengujian temperatur lingkungan dan temperatur sampel dapat dilihat dari Tabel 5.

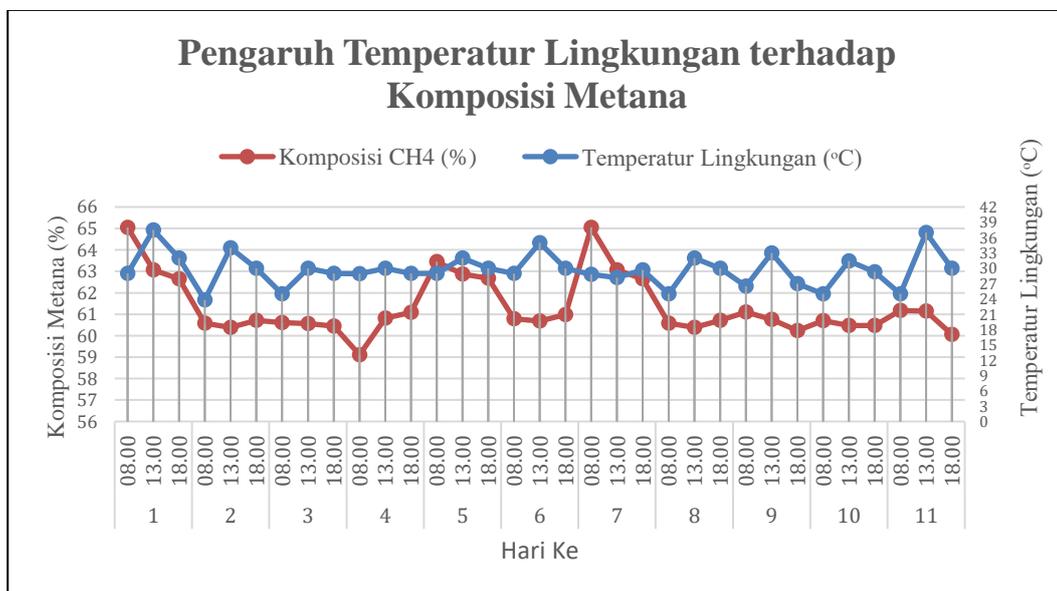
Tabel 5. Hasil Uji Temperatur Lingkungan dan Komposisi CH₄

| Hari ke | Tanggal | Jam | Temperatur Lingkungan (°C) | Komposisi CH ₄ (%) |
|---------|-------------------|-------|----------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 September 2024 | 08.00 | 29 | 65,05 |
| | | 13.00 | 37,5 | 63,06 |
| | | 18.00 | 32 | 62,65 |
| 2 | 3 September 2024 | 08.00 | 23,8 | 60,58 |
| | | 13.00 | 34 | 60,38 |
| | | 18.00 | 30 | 60,71 |
| 3 | 4 September 2024 | 08.00 | 25 | 60,61 |
| | | 13.00 | 30 | 60,57 |
| | | 18.00 | 29 | 60,44 |
| 4 | 5 September 2024 | 08.00 | 28,9 | 59,11 |
| | | 13.00 | 30 | 60,82 |
| | | 18.00 | 29 | 61,08 |
| 5 | 6 September 2024 | 08.00 | 29 | 63,45 |
| | | 13.00 | 32 | 62,87 |
| | | 18.00 | 30 | 62,68 |
| 6 | 7 September 2024 | 08.00 | 29 | 60,79 |
| | | 13.00 | 35 | 60,69 |
| | | 18.00 | 30 | 60,98 |
| 7 | 9 September 2024 | 08.00 | 28,8 | 65,05 |
| | | 13.00 | 28,2 | 63,06 |
| | | 18.00 | 29,7 | 62,65 |
| 8 | 10 September 2024 | 08.00 | 25 | 60,58 |
| | | 13.00 | 32 | 60,38 |
| | | 18.00 | 30 | 60,71 |
| 9 | 11 September 2024 | 08.00 | 26,5 | 61,10 |
| | | 13.00 | 33 | 60,75 |
| | | 18.00 | 27 | 60,24 |
| 10 | 12 September 2024 | 08.00 | 25 | 60,70 |
| | | 13.00 | 31,4 | 60,48 |
| | | 18.00 | 29,3 | 60,48 |
| 11 | 13 September 2024 | 08.00 | 25 | 61,17 |
| | | 13.00 | 37 | 61,14 |
| | | 18.00 | 30 | 60,05 |

Hasil pengujian pengaruh temperatur lingkungan terhadap komposisi metana dalam biogas di Reaktor CSTR dapat dilihat pada Tabel 5. Alat yang digunakan untuk pengujian temperatur lingkungan adalah termometer, sedangkan untuk menganalisis komposisi gas biogas, digunakan alat gas analyzer yang dapat mendeteksi gas metana (CH_4) dan gas-gas lain seperti karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S). Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa temperatur lingkungan berubah-ubah setiap waktu pengujiannya. Pada hari ke-1, temperatur lingkungan pada pukul 08.00 adalah 29°C , dan komposisi metana diukur menggunakan gas analyzer.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa antara temperatur lingkungan berubah-ubah setiap waktu pengujiannya. Pada hari ke-1, temperatur lingkungan jam 08.00 adalah 29°C dan komposisi metana adalah 65,05 %. Sedangkan pada jam 13.00 dengan temperatur lingkungan mengalami kenaikan menjadi $37,5^\circ\text{C}$ dan laju alir gas mengalami penurunan yaitu 63,06 %. Akan tetapi, pada jam 18.00 dengan temperatur lingkungan 32°C didapatkan komposisi metana sebesar 62,65. Berdasarkan hasil pengujian hari ke-1, dapat terlihat bahwa temperatur lingkungan tidak berpengaruh pada komposisi metana yang dihasilkan.

Pada hari ke-2, temperatur lingkungan jam 08.00 adalah $23,8^\circ\text{C}$ dan komposisi metana adalah 60,58 %. Sedangkan pada jam 13.00 dengan temperatur lingkungan mengalami kenaikan menjadi 34°C dan komposisi metana mengalami penurunan yaitu 63,8 %. Akan tetapi, sama seperti pengujian hari ke-1, pada jam 18.00 dengan temperatur lingkungan 30°C didapatkan kenaikan komposisi metana sebesar 60,71 %. Berdasarkan hasil pengujian hari ke-2, dapat terlihat bahwa temperatur lingkungan juga tidak berpengaruh pada laju alir gas yang dihasilkan.



Gambar 5. Pengaruh Temperatur Lingkungan terhadap Komposisi Metana pada Biogas dalam Reaktor CSTR

Pada pengujian hari-hari berikutnya juga tidak diperoleh pengaruh temperatur lingkungan terhadap laju alir gas yang dihasilkan karena tidak konsistennya data yang dihasilkan seperti pada grafik pada Gambar 5. Padahal berdasarkan (Rahayu dkk., 2015), tingkat produksi metana akan naik sekitar dua kali lipat setiap kenaikan suhu 10°C dalam rentang suhu mesofilik ($25\text{-}20^\circ\text{C}$). Instalasi biogas biasanya menggunakan rentang suhu mesofilik karena pengoperasiannya lebih

mudah, sementara rentang suhu termofilik (50-60°C) memerlukan kendali sistem suhu yang lebih ketat meskipun menghasilkan perpindahan massa yang lebih baik dan tingkat penguraian yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi mesofilik.

Berdasarkan Buku Panduan Konversi POME menjadi Biogas (Rahayu dkk., 2015), proses anaerobik secara umum tahap metanogenesis terjadi pada hari ke 6-7 untuk menghasilkan laju produksi gas yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan waktu retensi hidrolik atau *hydraulic retention time* (HRT). *Hydraulic retention time* (HRT) adalah lama waktu rata-rata suatu senyawa yang mudah larut tetap berada di dalam biodigester. Umumnya, unit biogas komersil POME memerlukan HRT 20-90 hari. HRT yang terlalu singkat mengakibatkan proses degradasi tidak tuntas atau mendorong bakteri keluar dari digester. *Hydraulic retention time* (HRT) yang diperoleh untuk produksi biogas dengan rata-rata laju alir umpan perhari selama pengujian 3,38 m³/jam yaitu 24,65 hari.

4. KESIMPULAN

Temperatur lingkungan reaktor tidak mengubah temperatur sampel dikarenakan temperatur dalam reaktor dikontrol melalui umpan yang masuk ke reaktor. Temperatur rata-rata lingkungan reaktor lebih rendah dari temperatur reaktor ($T_{\text{lingkungan}} < T_{\text{Reaktor}}$) sehingga tidak mempengaruhi laju alir gas (proses pembentukan biogas). Temperatur rata-rata lingkungan reaktor lebih rendah dari temperatur reaktor sehingga tidak mempengaruhi pembentukan metana (CH₄).

Alat yang digunakan untuk pengukuran temperatur lingkungan harus menggunakan alat yang lebih akurat dalam mengukur parameter. Perhitungan waktu reaksi yang diperlukan untuk mengkonversi POME menjadi biogas juga diperlukan supaya pengujian temperatur lingkungan dan pengujian laju alir gas serta komposisi gas metana dilakukan pada waktu yang tepat. Hal ini dikarenakan pada waktu pengujian yang sama tidak langsung menghasilkan biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adekunle, K. F., & Okolie, J. A. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6(3), 205–212. <https://doi.org/10.4236/abb.2015.63020>.
- Cazier, E. A., Trably, E., Steyer, J. P., & Escudie, R. (2015). Biomass hydrolysis inhibition at high hydrogen partial pressure in solid-state anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 190, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.055>.
- Detman, A., Mielecki, D., Pleśniak, Ł., Bucha, M., Janiga, M., Matyasik, I., Chojnacka, A., Jędrysek, M. O., Błaszczuk, M. K., & Sikora, A. (2018). Methane-yielding Microbial Communities Processing Lactate-rich Substrates: A piece of the Anaerobic Digestion Puzzle. *Biotechnology for Biofuels*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1106-z>.
- Dufault-Thompson, K., Nie, C., Jian, H., Wang, F., & Zhang, Y. (2022). Reconstruction and Analysis of Thermodynamically Constrained Models Reveal Metabolic Responses of a Deep-Sea Bacterium to Temperature Perturbations. *mSystems*, 7(4), e0058822. <https://doi.org/10.1128/msystems.00588-22>.

- Feng, Y. (2008). Effect of Temperature on Biogas Production and Fermentation Period Length from the Anaerobic Digestion of Crop Residue. *Journal of Agro-Environment Science*, 27(5), 2069-2074.
- Fitriani, D. A., & Yuliani, M. (2011). Prarancangan Pabrik Biogas dari Palm Oil Mill Effluent (POME) Kapasitas 1.321.000 m³/tahun. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret.
- Hidayah, F. Z. (2018). Analisis Konsentrasi Gas Metana (CH₄) dan Karbondioksida (CO₂) dari Tangki Septik pada Kegiatan Non Perumahan di Kelurahan Cupak Tengah, Kecamatan Pauh, Kota Padang. *Tugas Akhir*. Universitas Andalas.
- Hupfau, S., Plattner, P., Wagner, A., Kaufmann, R., Insam, H., & Podmirseg, S. M. (2018). Temperature shapes the microbiota in anaerobic digestion and increases efficiency at 45 °C. *Bioresource Technology*, 269: 309-318. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.08.106>
- Perdana, Y. P. (2024). Studi Pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (POME) sebagai Bahan Tambah Campuran Aspal Penetrasi 60/70 terhadap Karakteristik Aspal. *Skripsi*. Universitas Jambi.
- Rachmat, D., & Mondamina, N. W. (2023). Kajian Pemanfaatan Gas Metana Hasil Pengolahan Pabrik Kelapa Sawit dari POME sebagai Energi Alternatif *Boiler Burner*. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, 5(1), 13–22.
- Rahayu, A. S., Karsiwulan, D., Yuwono, H., Trisnawati, I., Mulyasari, S., Rahardjo, S., Hokermin, S., & Paramita, V. (2015). *Konversi POME menjadi Biogas* (A. S. Rahayu, D. Karsiwulan, H. Yuwono, & V. Paramita, Eds.). Winrock International.
- Ramaraj, R., & Unpaprom, Y. (2016). Effect of Temperature on the Performance of Biogas Production from Duckweed. *Chemistry Research Journal*, 1(1), 58–66.
- Rompas, P. T. D. (2012). *Perpindahan Kalor*. Unima Press.
- Syaifullah Z., A. M. (2021). Proses Pengolahan Kelapa Sawit PT Perkebunan Nusantara XIV Unit Usaha PKS LUWU. *Laporan Kuliah Kerja Praktek*. Politeknik ATI Makassar.