

Prototype Bioreaktor Penghasil Biogas Dari Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Berpengaduk Dengan Metode Fed Batch

Wanda Wahyudi*¹

¹Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: wahyudiwanda1@gmail.com

Abstrak

Limbah cair kelapa sawit (Palm Oil Mill Effluent atau POME) mengandung senyawa lemak, protein dan karbohidrat dan karbon. Minyak dan lemak merupakan komponen pencemar utama yang terdapat pada limbah cair pabrik kelapa sawit sedangkan karbon dapat didegradasi oleh bakteri anaerob menjadi biogas. Komponen terbesar yang terkandung dalam biogas adalah metana 55–70% dan karbon dioksida 30–45% serta sejumlah kecil, nitrogen dan hidrogen sulfida yang mana dapat dipisahkan dengan menggunakan bioreaktor dengan spesifikasi tertentu dengan memanfaatkan bakteri anaerob. Permasalahan Spesifikasi dan desain dari bioreaktor merupakan concern agar didapatkan rumusan produksi biogas yang optimal. Penelitian ini merancang bioreaktor Fed-Batch untuk mengolah POME dengan tujuan untuk mendapatkan spesifikasi desain bioreaktor berpengaduk, rumusan produksi hasil biogas. Untuk mendapatkan biogas, Limbah POME dan kotoran sapi dipompakan kedalam bioreaktor dan diendapkan selama 24 jam hingga lumpur dan limbah terpisah. Hal ini dilakukan selama 28 hari dengan penambahan substrat selama 14 hari. Pengambilan sampel dilakukan selama 14 hari. Desain Bioreaktor yang dibuat mempunyai 3 tangki dengan bentuk Limas terpancung pada tangki 1 dan balok pada tangki 2 & 3 berkapasitas masing masing 85 Liter. Hasil analisis menunjukkan bahwa bioreaktor dengan volume maksimal 85 dm³ dapat mendegradasi limbah dengan COD influen 3000 mg/l dan menghasilkan COD efluen 1567 mg/l. Rata-rata produksi biogas adalah 0,000947 L CH₄/g COD.

Kata kunci: *Bioreaktor Feb Batch, Biogas, Chemical on Demand (COD), Palm oil mill effluent (POME)*

Bioreactor Prototype Producing Biogas from Palm Oil Industry Wastewater with agitation Using the Fed Batch Method

Abstract

Palm Oil Mill Effluent (POME) contains compounds such as fats, proteins, carbohydrates, and carbon. Oil and fats are the main pollutants found in the liquid waste from palm oil mills, while carbon can be anaerobically degraded by bacteria into biogas. The primary component of biogas is methane (55–70%), along with carbon dioxide (30–45%), as well as small amounts of nitrogen and hydrogen sulfide. These components can be separated using a bioreactor with specific specifications, leveraging anaerobic bacteria. The main challenge lies in the design and specifications of the agitated bioreactor to achieve optimal biogas production. In this study, a Fed-Batch bioreactor was designed to process POME, aiming to determine the agitated bioreactor's design specifications and formulate biogas production. To produce biogas, POME and cow dung are pumped into the bioreactor and allowed to settle for 24 hours, separating sludge from the liquid waste. This process continues for 28 days, with substrate additions during the first 14 days. Samples are collected throughout the 14-day period. The designed bioreactor consists of three tanks: a truncated cone shape for tank 1 and rectangular shapes for tanks 2 and 3, with a total capacity of 85 liters. Analytical results indicate that the bioreactor with a maximum volume of 85 dm³ can degrade waste with an influent chemical oxygen demand (COD) of 3000 mg/L and produce an effluent COD of 1567 mg/L. The average biogas production is 0.000947 L CH₄/g COD.

Keywords: *Bioreaktor Feb Batch, Biogas, Chemical on Demand (COD), Palm oil mill effluent (POME)*

1. PENDAHULUAN

Industri pengolahan kelapa sawit di Indonesia mengalami perkembangan yang pesat, dilain pihak pengolahan kelapa sawit ini akan menghasilkan limbah diantaranya lain mesokarp, serat, tempurung, tandan kosong kelapa sawit, dan limbah cair atau yang umum disebut palm oil mill effluent (POME)[1]. Air Limbah Industri minyak Kelapa Sawit merupakan limbah terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit.

Pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) dalam mengolah setiap ton tandan buah segar (TBS) akan menghasilkan rata-rata 120-200 kg minyak kelapa sawit mentah (CPO), 230-250 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 130-150 kg serat/fiber, 60-65 kg cangkang, 55-60 kg kernel, dan 0,7 m³ air limbah. Jika Indonesia berhasil menjadi produsen utama CPO dunia, dengan memproduksi 18 juta ton CPO per tahun sebagaimana yang ditargetkan, maka akan dihasilkan air Limbah Industri minyak Kelapa Sawit sebanyak lebih dari 50 juta ton per tahun[3].

Air Limbah Industri minyak Kelapa Sawit atau Palm Oil Mill Effluent (POME) mempunyai kandungan senyawa lemak, protein dan karbohidrat yang mempunyai ikatan atom C, apabila diolah dengan baik maka dapat menghasilkan biogas yang bisa digunakan untuk menghasilkan energi[1]. Minyak dan lemak merupakan komponen pencemar utama yang terdapat pada limbah cair pabrik kelapa sawit. Oleh sebab itu banyak penelitian yang dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran tersebut, namun biasanya hanya diolah agar dapat dibuang sesuai dengan standar baku mutu lingkungan yang sudah ditetapkan.

Dari pengolahan pabrik kelapa sawit didapatkan air Limbah Industri minyak Kelapa Sawit dan pada peternakan sapi didapatkan feses. Kedua limbah ini berpotensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan energi alternatif, salah satunya adalah biogas[3]. Biogas yang dihasilkan dari air Limbah Industri minyak Kelapa Sawit diolah dengan metode anaerob dengan memperhatikan beberapa parameter agar kondisi di dalam reaktor terjaga dan bakteri anaerob yang berkembang tidak mati dan dapat menguraikan limbah secara sempurna.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan membandingkan antara bioreaktor yang berbentuk tangki Limas dan balok, pada penelitian ini didapatkan bahwa pada tangki limas dapat digunakan secara optimal dalam pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit, karena proses pengendapannya yang baik, tidak membutuhkan area yang sangat besar, dan dalam pengolahannya bisa lebih mudah untuk dikontrol[4], serta dengan menggabungkan 2 *design* pada *feed* berbentuk limas dan pada reaktor digunakan design berbentuk balok, didapatkan efisiensi alat serta produk biogas yang belum optimal.

Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian terhadap proses pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit dengan membuat alat Bioreaktor dengan tangki sedimentasi berbentuk limas terpancung dan tangki fermentasi berbentuk balok dengan tambahan mixer atau pengaduk dengan kapasitas yang lebih besar yang diharapkan produk biogas serta efisiensi alat yang dihasilkan didapat secara optimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pendekatan desain fungsional

Bioreaktor difungsikan untuk menggantikan kolam anaerobik pada sistem konvensional yang dibantu dengan pemakaian bakteri mesofilik dan termofilik. Proses digestasi anaerobik merupakan proses fermentasi bahan organik oleh aktivitas bakteri anaerob pada kondisi tanpa oksigen bebas dan berubahnya dari bentuk tersuspensi menjadi terlarut dan biogas[5][6]. Digestasi anaerobik dianggap efektif untuk proses pengolahan limbah pabrik kelapa sawit karena melibatkan mikroorganisme dengan serangkaian reaksi biokimia kompleks dari bahan organik menghasilkan metana dan karbon dioksida. Keuntungan dari proses penanganan secara anaerobik jika dibandingkan dengan proses penanganan secara aerobik adalah, sludge yang dihasilkan lebih sedikit, menghasilkan gas metan yang dapat dipergunakan sebagai bahan bakar, dan dapat dioperasikan untuk menangani limbah cair dengan beban limbah yang tinggi[7][8]. Oleh karena itu desain alat ini menggunakan sistem anaerob dimana komponen *bioreaktor* yang telah dibuat kedab udara dan berbentuk limas terpancung dan balok, hal ini didasarkan pada penelitian sebelumnya, pada penelitian sebelumnya, penggunaan bioreaktor berbentuk limas dan balok ini cukup optimal untuk memproses limbah cair pabrik minyak kelapa sawit, dimana pada *bioreaktor* ini diberikan tambahan alat atau komponen penunjang seperti pompa sentrifugal, *flowmeter*, *tedlar bag*, leher angsa, agitator/mixer, sensor temperatur, *pressure gauge* dan pompa vakum.

2.2. Pendekatan desain structural

Desain model *Bioreaktor* ini dibuat skala laboratorium dengan kapasitas tampungan lebih dari 50 lt. Bioreaktor dibuat dengan material akrilik dengan menggunakan rangka besi, ketinggian dari setiap Bioreaktor dibuat semakin menurun, difungsikan agar dapat memanfaatkan gaya gravitasi. Rangka besi menyesuaikan dengan ukuran dari masing masing tanki.

Tangki No 1 berbentuk limas terpancung yang terbuat dari akrilik sebagai tempat sedimentasi umpan. Limas terpancung adalah limas yang dipotong oleh bidang yang sejajar dengan bidang datar (alas). Limas terpancung juga disebut juga limas terpotong. Alas bawah limas berukuran persegi memiliki sisi 15 cm, dan tangki memiliki sisi miring berukuran 60 cm dan alas atas berukuran persegi memiliki sisi 25 cm. Pada limas terpancung memiliki kubah tertutup yang terbuat dari kaca. Kubah ini berfungsi agar proses tetap dalam keadaan steril. Di bagian atas terdapat pipa PVC berukuran ½ inchi yang berfungsi tempat memasukkan umpan ke

tangki No.1 sebagai proses sedimentasi. Di bagian bawah tangki terdapat pipa PVC ½ inchi yang berfungsi mengeluarkan endapan yang terbentuk. Di bagian salah satu sisi miring tangki terdapat saluran pipa PVC ½ inchi dan valve yang menghubungkan antara tangki No.1 dan tangki No 2. Letak tangki No.1 lebih tinggi dibanding tangki No.2.

Tangki No.2 dan tangki No.3 memiliki bentuk dan ukuran yang sama. Tangki berbentuk balok terbuat dari kaca sebagai tempat fermentasi umpan untuk produksi biogas. Panjang balok berukuran 35 cm, lebar 35 cm dan tinggi 50 cm. Setiap tangki balok memiliki kubah kaca tertutup. Setiap kubah pada tangki balok memiliki saluran pipa PVC ½ inchi untuk mengalirkan gas metana menuju *tedlar bag*. Pada tangki No.2 sisi miring kubah terdapat saluran pipa PVC ½ inchi dan valve sebagai tempat masuknya substrat kotoran sapi. Pada setiap bagian bawah tangki No.2 dan tangki No.3 terdapat pipa PVC ½ inchi sebagai saluran pembuangan endapan sisa limbah. Pada sisi samping tangki No.2 memiliki saluran pipa yang menghubungkan sisi samping tangki No.1 dan sisi yang berlawanan memiliki saluran pipa yang menghubungkan antara sisi tangki No.2 dan sisi tangki No.3. Pada sisi samping tangki No.3 memiliki saluran pipa PVC ½ inchi memiliki saluran pipa penghubung dari tangki No.2 dan pada sisi samping tangki No.3 lainnya memiliki saluran pipa PVC ½ inchi sebagai tempat pembuangan dari hasil akhir pengolahan limbah industri minyak kelapa sawit. setiap tangki *Bioreaktor* memiliki kapasitas 85 liter.

Tangki No.2 memiliki alat agitator dan sensor temperatur sebagai alat pendukung dalam pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit. Agitator berfungsi untuk menghomogenisasikan antara POME dan kotoran sapi, sedangkan sensor temperatur berfungsi sebagai alat pengukur dalam satuan °C pada tangki No.2 sehingga kita dapat mengetahui suhu yang terjadi didalam tangki No.2 tersebut.

2.3. Uji Coba dan Pengambilan sampel

Pengujian bioreaktor dilakukan dengan mempersiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan. Memastikan bioreaktor, saluran valve, dan agitator terpasang dengan benar. Mengambil sampel bahan baku untuk analisis sebagai data awal pengolahan limbah secara fed batch. Hidupkan pompa dan alirkan umpan (POME) ke dalam tangki limas (tangki 1) hingga penuh. Lakukan proses sedimentasi selama 24 jam, lalu pisahkan air dan lumpur yang terendapkan dari saluran bawah tangki A. Alirkan air limbah yang telah terpisah dari lumpur menuju tangki 2 dan tangki 3. Tambahkan substrat kotoran sapi dan POME dengan perbandingan 30:70 sebanyak 4 liter pada tangki 2. Aktifkan agitator dengan variasi kecepatan selama 30 menit per hari. Selama proses fermentasi 14 hari, cek suhu setiap hari untuk memahami pengaruh suhu terhadap proses. Akhirnya, ambil sampel dari tangki 2 untuk dianalisis. Sampling dilakukan selama 14 hari dengan total waktu penelitian 28 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Analisa Bahan Baku

Pengolahan bahan baku berupa air limbah industri minyak kelapa sawit (POME) menggunakan *Bioreaktor* melalui tahapan proses sedimentasi dan fermentasi. Sebelum mendapatkan perlakuan pengolahan, limbah terlebih dahulu akan dilakukan pemeriksaan kandungan awal (Tabel.1) dari limbah untuk mengetahui kandungan limbah tersebut.

Tabel 1. Data Analisa Kandungan Awal Air Limbah Industri minyak Kelapa Sawit

No	Parameter	Hasil Analisa
1	TDS	167,4 mg/L
2	TSS	18050 mg/L
3	pH	10,02
4	BOD	21,9 mg/L
5	COD	7783 mg/L

3.2. Data Analisa Limbah Setelah Pengolahan

Setelah dilakukan pengolahan didapatkan data Analisa seperti pada Tabel.2 dimana hasil Analisa TSS dan COD cenderung turun.

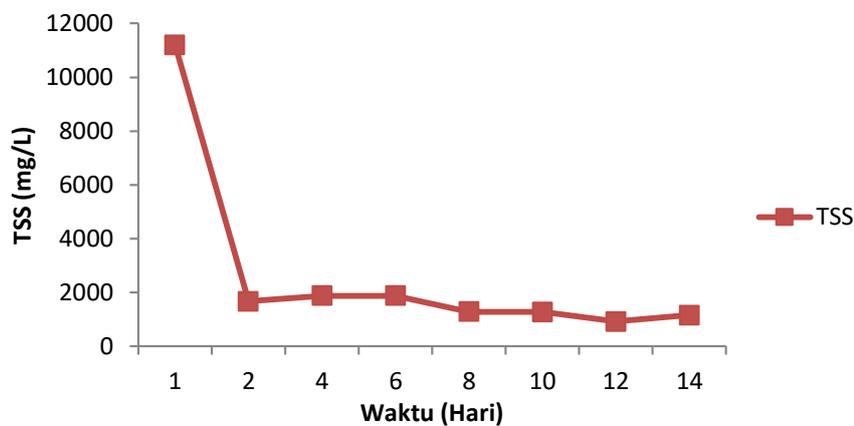
Proses fermentasi telah dilakukan dengan perbandingan komposisi yang digunakan yaitu 70% POME dan 30% Substrat pada saat bioreaktor di rancang, jadi total waktu yang dibutuhkan yakni untuk fermentasi awal 2 minggu dan 2 minggu penambahan substrat dan kotoran sapi serta dilakukan pengecekan sampel per 2 hari, tujuannya yakni untuk meregenerasi limbah agar proses pembentukan gas lebih maksimal.

Tabel 2. Data Analisa Limbah Setelah Pengolahan

No	Parameter	Satuan	Hari						
			2	4	6	8	10	12	14
1	pH	Unit	8,86	8,56	8,66	8,59	8,30	8,24	8,36
2	TDS	mg/L	77,21	72,67	60,44	73,55	71,88	72,66	71,29
3	TSS	mg/L	1670	1876	1566	1289	1279	921	1154
4	COD	mg/L	3792	2001	1988	2182	1754	1655	1567

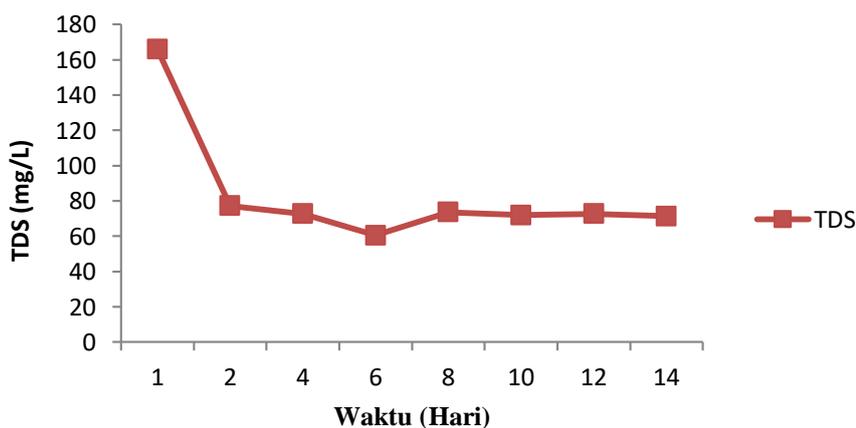
3.2.1. Total Suspended Solid (TSS) dan Total Dissolved Solid (TDS)

Pengecekan *Total Suspended Solid* (TSS) dilakukan di laboratorium PPLH pascasarjana Universitas Sriwijaya Palembang, dimana pada pengecekan awal raw material POME didapatkan hasil 11200 mg/L, pengecekan ini sendiri sebelumnya dilakukan dengan pengenceran beberapa kali sebelum dilakukan pengecekan TSS dan TDS yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Grafik Total Suspended Solid terhadap waktu

Dari hasil yang didapatkan TSS mengalami penurunan dari hari ke hari pada hari kedua setelah dilakukan penambahan kotoran sapi didapatkan 1670 mg/l dan seterusnya terjadi kenaikan dan penurunan 1876 mg/l, 1876 mg/l, 1289 mg/l, 1279 mg/l, 921 mg/l, 1154 mg/l, hal ini diakibatkan karena pada saat pengambilan sampel telah terjadi pengendapan pada tanki 2, dan lumpur hasil pengendapan dipisahkan serta penambahan substrat baru dan pengadukan per 2 hari juga mempengaruhi kenaikan TSS.

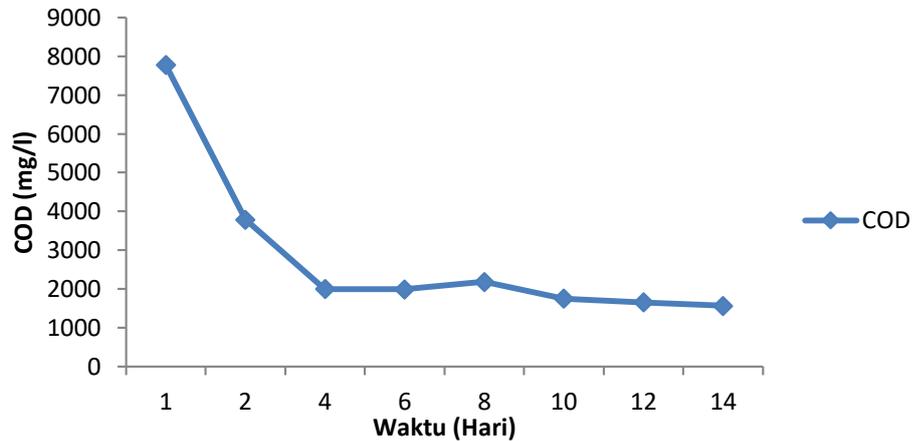


Gambar 2. Grafik Total Dissolved Solid terhadap Waktu

Total suspended solid memberikan kontribusi pada total dissolved solid (TDS). TDS atau kekeruhan pada tanki 2 mengalami penurunan dari sampel awal POME yang belum dilakukan pengolahan sampai POME yang telah mengalami proses pengolahan, TDS sendiri merupakan kecenderungan sampel untuk menyebarkan cahaya, terjadinya penurunan dan kenaikan TDS sendiri dipengaruhi oleh pengendapan dari TSS serta penambahan substrat baru.

3.2.2. Chemical On Demand (COD)

Konsentrasi bahan organik sangat berpengaruh terhadap perencanaan pembuatan dimensi reaktor dan juga bagi kelangsungan proses penguraian zat organik kompleks menjadi senyawa sederhana, Supriyanto (2016). COD sendiri berpengaruh terhadap pembentukan gas metan. Dimana semakin besar penurunan kadar COD maka semakin besar pula gas metan yang terbentuk hal ini ditunjukkan di dalam grafik di gambar 3.



Gambar 3. Grafik penurunan COD terhadap waktu

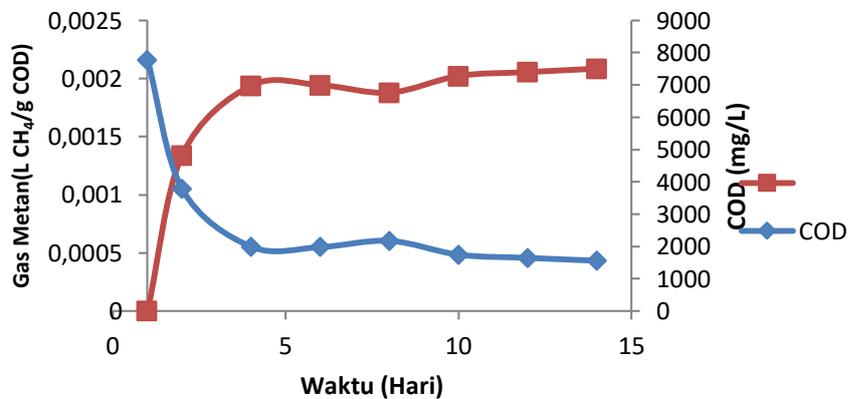
Pada gambar 3 yaitu grafik penurunan COD terhadap waktu COD sampel mengalami penurunan seiring waktu hal ini menunjukkan terjadinya penguraian COD oleh bakteri anaerob.

3.2.3. Pembentukan Biogas

Penetapan nilai perubahan substrat bahan organik yang akan digunakan dalam proses metogenik dapat ditentukan dengan reaksi CO₂ dan gugus metil. Pembentukan metana dihasilkan dari selulosa yang dihidrolisis menjadi monosakarida, sedangkan pembentukan nitrogen dihasilkan dari protein yang dihidrolisis menjadi asam amino. Reaksi-reaksi tersebut melibatkan beberapa senyawa organik seperti asam format, asam asetat, karbon monoksida, methanol dan metil amin. Secara stoikiometri COD setara dengan jumlah metana yang dihasilkan atau besarnya nilai COD untuk berubah menjadi metan setara dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk pembentukan karbon dioksida dan air:



Dengan menggunakan cara yang sama menggunakan rumus didapatkan grafik produksi gas metan terhadap penurunan COD



Gambar 4. Grafik produksi gas metan terhadap penurunan COD

Dari Gambar 4. hasil perhitungan penurunan COD didapatkan hasil gas metan berbanding terbalik. Data mulai diamati pada hari ke 2 setelah penambahan substrat baru atau hari ke 16 fermentasi. Pengukuran laju produksi gas dan COD diamati setiap 2 hari. Data hasil pengukuran laju produksi gas pada minggu kedua menunjukkan laju produksi gas yang cukup stabil, dengan nilai COD yang masih cukup tinggi dan warna

suspensi belum cukup gelap. Data ini dapat menandakan bahwa mikroorganisme belum terfermentasi secara baik dan sistem belum beroperasi secara optimal. Oleh sebab itu masih dibutuhkan waktu fermentasi sehingga sistem mencapai kinerja yang optimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa dalam pengolahan air limbah industri minyak kelapa sawit ini, tahap sedimentasi dan fermentasi menghasilkan hasil yang signifikan. Pertama, rancangan bioreaktor dengan volume maksimal 85 dm³ dapat digunakan untuk mendegradasi limbah dengan COD influen sebesar 3.000 mg/L dan menghasilkan COD effluen sebesar 1.567 mg/L. Kedua, penggunaan kotoran sapi mempengaruhi laju pembentukan biogas, dengan rata-rata produksi biogas sebesar 0,000947 L CH₄/g COD. Ketiga, meskipun menggunakan sistem fed batch, proses penurunan COD berjalan stabil. Penurunan COD tertinggi terjadi pada hari ke-8, dengan pengurangan sebesar 428 ppm. Namun, untuk mencapai baku mutu lingkungan, perlu dilakukan upaya pengolahan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Femeh, P. Rupani, R. P. Singh, M. H. Ibrahim dan N. Esa, "Review of Current Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Methods : Vermicomposting as a Sustainable Practice", *World Applied Sciences Journal*, vol 11. pp 70-81, 2010.
- [2] Azmi, S. Nazul, K. F. Md Yunus, A. S. Baharuddin dan Z. Md Dom, "The Effect of Operating Parameters on Ultrafiltration and Reverse Osmosis of Palm Oil Mill Effluent for Reclamation and Reuse of Water," *Water Reuse for Oil Palm, BioResources*, pp 76-87, 2013.
- [3] Supriyanto, "Produksi Biogas Dari Campuran Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dan Kotoran Sapi Menggunakan Bioreaktor Cstr," Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2016.
- [4] O. S Endang, "Pengaruh Laju Alir Pengumpanan Dan Waktu Tinggal Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Pada Proses Sedimentasi Secara Batch. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang, 2015.
- [5] Naibaho, Ponten, M, *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
- [6] W. Choorit, "Effect Of Temperature on the Anaerobic Digestion Of Palm Oil Mill Effluent," *Journal of Biotechnology*, 2007, pp 377. ISSN:0717-345B
- [7] S. Siddharth, "Green Energy-Anaerobic Digestion," in *Proceedings Of The 4th WSEAS Int. Conference. On Heat Transfer, Thermal Engineering And Environment, Elounda, Greece*, Sri Venkateswara College Of Engineering Sriperumbudur Anna University, 2006, pp 276-28.
- [8] L. D. Benefield, and C. W. Randall, *Biological Process Design for Waste Water Treatment* Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs.