



AGROINDUSTRIAL TECHNOLOGY JOURNAL

ISSN : 2599-0799 (print) ISSN : 2598-9480 (online)

Accredited SINTA 3: No.225/E/KPT/2022

**PENGARUH PENAMBAHAN ABU TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA
PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT**

*Effect of Addition of Palm Oil Empty Bunch Ash on Biogas Production from Palm Oil Mill
Effluent*

Clinton Velly Purwanto¹, Wagiman^{2}, Jumeri²*

*¹Mahasiswa Pascasarjana Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Gadjah Mada, Indonesia*

*²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Gadjah Mada, Indonesia*

Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

**Email Korespondensi: ayuafif@ugm.ac.id*

Info artike: Diterima 26 Desember 2022, Diperbaiki 17 Januari 2023,
Disetujui 25 Mei 2023

ABSTRACT

Palm oil mill effluent (POME) and empty palm fruit bunches (EPFB) are the waste with the largest amount of capacity resulting from the processing of the palm oil industry. POME has a high organic content that can be used as a biogas producer. This study used POME, EPFB and cow dung as ingredients to produce biogas using an anaerobic batch digester with a volume of 20 liters, where each experiment had a different material composition and the addition of a different concentration of tankos ash solution. The purpose of this study was to determine the appropriate concentration of mixing a solution of tankos ash, POME, and cow dung in an effort to increase biogas production. The results showed that from several experiments that had been carried out during 30 days of observation, the experiment that had the highest value of biogas production and methane gas revenue was the experiment with a composition of 5 liters of cow dung, 5 liters of POME and 10 liters of tankos ash solution (1:1:2) has a biogas production value of 58,646 ml and CH₄ methane gas revenue of 70.1%. It was concluded that the addition of tankos ash solution can significantly increase the pH of the waste digester and can increase the amount of biogas production with a certain concentration.

Keywords: *Palm oil mill effluent (POME); Empty palm fruit bunches (EPFB); Biogas; Methane gas*

ABSTRAK

Limbah cair kelapa sawit (LCKS) dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah dengan jumlah kapasitas terbesar dari hasil pengolahan industri kelapa sawit. LCKS

memiliki kandungan organik tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai penghasil biogas. Penelitian ini menggunakan LCKS, TKKS dan kotoran sapi sebagai bahan untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan digester batch anaerob volume 20 liter, dimana pada setiap masing-masing percobaan memiliki komposisi bahan yang berbeda-beda dan penambahan konsentrasi larutan abu tankos yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan konsentrasi yang sesuai pada pencampuran larutan abu tandan kosong kelapa sawit (abu tankos), LCKS, dan kotoran sapi dalam upaya meningkatkan produksi biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari beberapa percobaan yang telah dilakukan selama 30 hari pengamatan, percobaan yang memiliki nilai produksi biogas dan pendapatan gas metan tertinggi terdapat pada percobaan dengan komposisi bahan 5 liter kotoran sapi, 5 liter LCKS dan 10 liter larutan abu tankos (1:1:2) memiliki nilai produksi biogas sebesar 58.646 ml dan pendapatan gas metan CH₄ sebesar 70,1%. Disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan larutan abu tankos dapat meningkatkan pH limbah digester secara signifikan dan dapat meningkatkan jumlah produksi biogas dengan konsentrasi tertentu.

Kata kunci: Limbah cair kelapa sawit (LCKS); Tandan kosong kelapa sawit (TKKS); Biogas; Gas metan

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas utama yang berkembang pesat di negara Asia Tenggara, khususnya untuk Indonesia dan Malaysia yang menguasai 86% dari produksi global (Garritano dkk., 2018). Indonesia dengan luas areal perkebunan kelapa sawit pada tahun 2021 mencapai 15,08 juta hektar dan produksi minyak sawit mentah (CPO) sebesar 49,7 juta ton menjadikan sebagai negara produsen kelapa sawit nomor 1 di dunia (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019).

Kelapa sawit atau dalam bahasa latin *Elaeis Guineensis Jacq* merupakan tumbuhan industri perkebunan komersil penghasil minyak makanan, minyak industri dan bahan bakar nabati (biodiesel), di Indonesia perkembangan pada sektor perkebunan kelapa sawit meningkat setiap tahunnya, tidak dapat dipungkiri hal ini

menyebabkan peningkatan limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019).

Pada proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) menghasilkan produk utama berupa minyak CPO sebesar 24% dan minyak *Palm Kernel Oil* (PKO) sebesar 2,5%, dan menghasilkan limbah berupa limbah cair kelapa sawit (LCKS) sebesar 500-790 L/Ton TBS dan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 200-230 kg/Ton TBS (Hasanudin dkk., 2015). Dari beberapa limbah yang dihasilkan, limbah LCKS dan TKKS merupakan dua limbah utama yang paling besar jumlahnya dari hasil pengolahan buah kelapa sawit (Haryanto dkk., 2018).

Pemanfaatan limbah LCKS dan TKKS secara konvensional umumnya banyak digunakan sebagai pupuk organik dan

mulsa di perkebunan kelapa sawit karena mengandung unsur hara berupa N, P, K dan Mg, namun pemanfaatan tersebut kurang efisien dikarenakan membutuhkan proses yang lama sekitar ± 90 hari (Warsito dkk., 2016). LCKS yang memiliki karakteristik berupa cairan kental berwarna coklat dengan nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi (Rajani dkk., 2019), salah satu pemanfaatan limbah ini dapat dimanfaatkan sebagai penghasil biogas yang mengandung gas metana, dalam 1 ton LCKS dapat menghasilkan 28 m³ biogas yang merupakan sumber energi terbarukan (Irvan dkk., 2012).

Biogas merupakan kumpulan dari beberapa gas yang dihasilkan dari degradasi bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan dengan sedikit oksigen, komponen biogas terdiri dari metana CH₄ (50-75%), CO₂ (20-45%) dan sejumlah kecil H₂, N₂, H₂S) (Mujdalipah dkk., 2014). Apabila kandungan metana dalam biogas lebih dari 50% maka biogas tersebut telah layak digunakan sebagai bahan bakar.

Pada kehidupan mikroba dalam cairan memerlukan keadaan lingkungan yang cocok antara lain pH, suhu dan nutrisi. Derajat keasaman pada mikroba berkisar antara 5-9, oleh karena itu LCKS yang bersifat asam (pH 4-5) merupakan media yang tidak cocok untuk pertumbuhan bakteri, maka untuk mengaktifkan bakteri cairan

LCKS tersebut harus dinetralisasi (Rizal dkk., 2015). Hal ini juga didukung pada penelitian yang dilakukan oleh Widarti dkk. (2015), yang melakukan degradasi COD LCKS tanpa penambahan alkali dengan nilai pH 4 menghasilkan akumulasi biogas sebanyak 0,004 L dan hasil uji bakar tidak ada nyala api, sehingga dapat disimpulkan dalam biogas tersebut tidak mengandung metana.

Permasalahan dalam pelaksanaan biogas LCKS adalah nilai pH LCKS yang rendah (pH berkisar 4.0-4.9) dalam kondisi tersebut tidak baik untuk proses fermentasi, maka dari itu dilakukan penambahan larutan abu tandan kosong kelapa sawit (abu tankos) yang bersifat alkali diharapkan dapat meningkatkan nilai pH LCKS. Larutan abu tankos berasal dari limbah TKKS. Penelitian ini menggunakan LCKS, TKKS dan kotoran sapi sebagai bahan untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan digester batch anaerob. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi yang sesuai pada pencampuran larutan abu tankos, LCKS, dan kotoran sapi dalam upaya meningkatkan produksi biogas.

METODE PENELITIAN

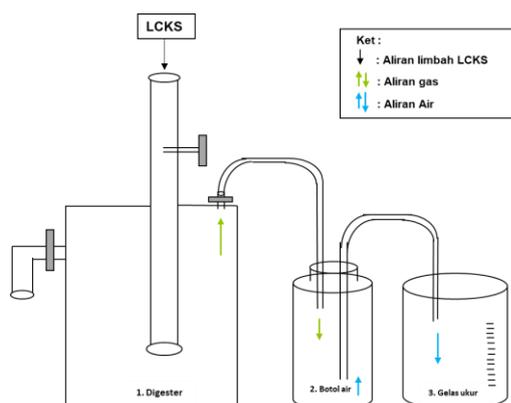
Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat yang digunakan adalah jerigen (digester) volume 20 liter, pipa pvc, gelas ukur, termometer,

pH meter dan gas analyzer (Model No. Biogas 5000, Serial No. G504493, Geotechnical Instruments Ltd. UK). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah segar LCKS (*raw pome*), abu tankos dan kotoran sapi yang diperoleh dari Biogas Plant PT. XYZ di Sumatera.

Digester Biogas

Model digester yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Anaerobic Batch Digester* dengan volume 20 liter, digester biogas yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Cara kerja digester tersebut adalah gas yang dihasilkan dari proses fermentasi akan dialirkan melalui selang dan akan tertampung kedalam botol yang berisi air. Gas yang dihasilkan akan masuk kedalam botol dan mendorong air yang terdapat dalam botol untuk keluar. Air yang keluar dari botol akan tertampung dalam gelas ukur dan diamati jumlah volume air yang tertampung. Dengan prinsip tersebut diasumsikan bahwa volume gas yang dihasilkan sama dengan volume air yang keluar.



Gambar 1. Digester Biogas

Persiapan Substrat dan Inokulum

Bahan substrat dan inokulum yang digunakan dalam penelitian ini adalah LCKS, kotoran sapi dan abu tankos.

Limbah LCKS yang diperoleh dari limbah pabrik biogas merupakan limbah segar yang kondisinya masih panas, limbah ini memiliki suhu 80°C-90°C. Limbah cair ini masih bercampur dengan *sludge*, pasir, dan minyak, untuk itu limbah cair ini harus mengalami proses pengendapan selama 1 hari. Pengendapan ini bertujuan untuk memisahkan bahan pengotor LCKS seperti *sludge*, pasir, minyak dan untuk mengurangi suhu panas limbah menjadi suhu 33°C-35°C.

Abu tankos merupakan limbah yang berasal dari TKKS yang sudah kering lalu mengalami proses pembakaran dalam sebuah tungku api. Abu tankos ini masih banyak bercampur dengan pasir, tungkul tankos. Pembuatan larutan abu tankos adalah dengan menambahkan abu tankos dan air dengan perbandingan 1:3, kemudian diaduk hingga merata sampai larutan air berubah warna menjadi abu-abu dan air terasa kental dan menyaring larutan untuk memisahkan bahan pengotor seperti pasir dan tungkul tankos, lalu larutan di test pH hingga memiliki $\text{pH} \geq 12$.

Kotoran sapi yang digunakan adalah kotoran sapi yang masih baru. Proses pembuatan larutan yakni dengan mencampur kotoran sapi dan air dengan perbandingan 1:2, kemudian mengaduk bahan hingga

merata sampai larutan kental dan berubah warna menjadi jingga kekuning-kuningan, lalu menyaring larutan tersebut untuk memisahkan bahan pengotor yang masih terikat seperti batu dan daun-daunan.

Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini terdapat 5 percobaan yang dilakukan dengan 2 ulangan, yang mana masing-masing percobaan memiliki perlakuan yang berbeda dengan kapasitas digester yang sama yaitu 20 liter. Percobaan ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Sompong dkk. (2012) yang melakukan variasi substrat dan inokulum pada produksi biogas dengan digester anaerobik kondisi termofilik dari bahan LCKS dan TKKS (Sompong dkk., 2012). Berikut komposisi bahan percobaan yang dilakukan pada penelitian ini.

Tabel 2. Komposisi Larutan Bahan Percobaan

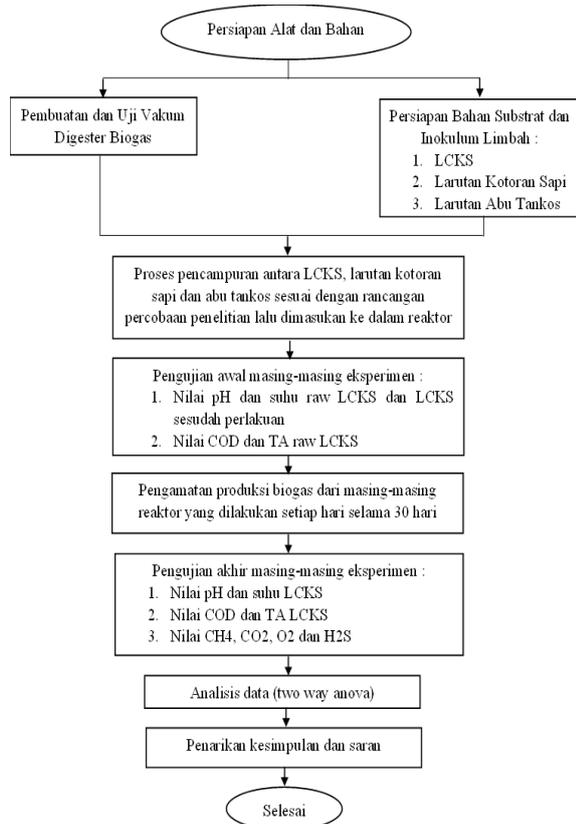
Percobaan	Perbandingan Komposisi Larutan
	Kotoran sapi : LCKS : Abu Tankos
1	1 : 1 : 0
2	1 : 1 : 1
3	1 : 1 : 2
4	1 : 1 : 3
5*	(Hanya kotoran sapi)

Ket : *sampel hanya berisi larutan kotoran sapi tanpa penambahan LCKS dan abu tankos

Tahapan Penelitian

Pada tahapan penelitian ini, berikut akan dijelaskan secara singkat mengenai langkah-langkah yang dikerjakan pada penelitian ini.

Tahapan pada penelitian ini dimulai dari pembuatan dan uji vakum digester biogas, kemudian dilanjutkan dengan persiapan bahan substrat dan inokulum yang meliputi kotoran sapi, LCKS dan abu tankos, bahan yang telah diolah dan disiapkan tersebut kemudian dimasukkan kedalam digester sesuai dengan komposisi perbandingan bahan yang telah ditetapkan pada rancangan percobaan, lalu dilakukan pengamatan selama 30 hari dan kemudian dianalisa hasil biogas yang telah dihasilkan oleh digester. Berikut Gambar 2 menunjukkan flowchat tahapan penelitian.

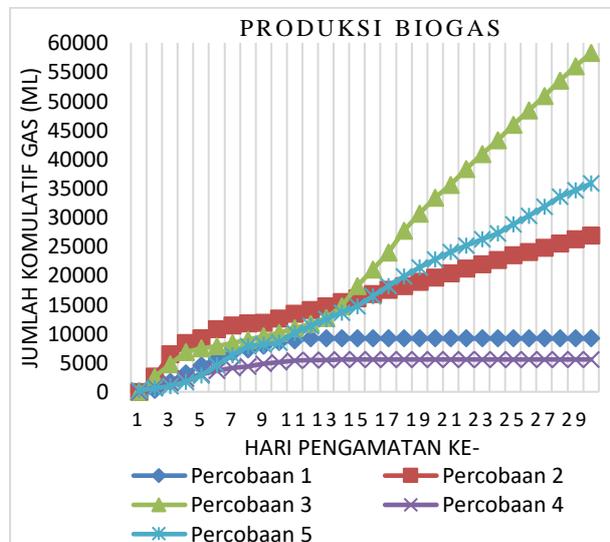


Gambar 2. Flowchart Tahapan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Produksi Biogas

Hasil produksi biogas selama 30 hari pengamatan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Produksi Biogas

Dari Gambar 3 grafik produksi biogas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan

jumlah produksi gas yang dihasilkan dari masing-masing percobaan. Percobaan dengan jumlah gas total terbanyak diperoleh pada percobaan 3 (58.247 ml), lalu diikuti percobaan 5 (35.813,5 ml), percobaan 2 (26.903,5 ml), percobaan 1 (9.175 ml) dan percobaan 4 (5.561 ml). Perbedaan jumlah gas yang dihasilkan pada masing-masing percobaan dikarenakan perbedaan komposisi bahan penyusunnya dan kondisi pH yang dihasilkan dari masing masing percobaan. Berdasarkan Ceron Vivas dkk. (2019) menyatakan bahwa, bakteri metanogenik hanya dapat tumbuh pada rentang pH 6,5-8,2 sehingga diluar rentang tersebut mengakibatkan bakteri aktif mengalami penurunan kinerja atau hilang.

Hubungan Nilai pH Terhadap Produksi dan Laju Produksi Biogas

Tabel 3. Hubungan Nilai pH Terhadap Produksi dan Laju Produksi Biogas

Percobaan	pH Awal	pH Akhir	Jumlah Total Produksi Gas (ml)	Laju Produksi Biogas (ml/jam)
1	4,7	4,4	9.175	0
2	7,1	6,8	26.903,5	29,94
3	8,5	7,9	58.247	113,30
4	11,4	11,1	5.561,5	0
5	7,2	7,1	35.813,5	57,83

Laju produksi biogas pada Tabel 3 dihitung mulai pada hari ke 15, hal ini dikarenakan pada hari 1-14 gas yang dihasilkan masih belum stabil atau memasuki fase adaptasi dan cenderung untuk meningkat

(Hanifah Nisrina dan Pertiwi Andarani, 2018).

Berdasarkan Tabel 3, percobaan dengan total produksi gas dan laju produksi gas tertinggi diperoleh pada percobaan 3 dengan total produksi gas sebesar 58.247 ml dan laju produksi gas sebesar 113.30 ml/jam. Sedangkan pada percobaan 1 dan percobaan 5 memiliki total produksi gas masing-masing sebesar 9.175 ml dan 5.561,5 ml dan laju produksinya adalah 0 ml/jam. Hal ini dikarenakan mulai dari hari pengamatan ke-15 sampai dengan hari ke 30 percobaan 1 dan 5 tidak lagi menghasilkan gas. Penyebabnya adalah dikarenakan kondisi pH dari percobaan 1 yang terlalu rendah yaitu berkisar 4,4-4,7 dan percobaan 5 memiliki pH yang terlalu tinggi yaitu 11,1-11,4 , dengan kondisi pH yang terlalu rendah dan terlalu tinggi menyebabkan tidak terjadinya proses fermentasi sampai tahap akhir metanogenesis (Rusdiyono dkk., 2017).

Hasil Pengujian Gas Metana

Pembentukan gas metana pada proses fermentasi terjadi pada tahap metanogenesis, metanogenesis merupakan tahap penguraian dari asam asetat, H₂ dan CO₂ (produk dari tahap asetogenesis) menjadi CH₄, CO₂ serta sejumlah kecil N₂ dan H₂S (Mustafa dkk., 2016). Pengujian gas metana pada penelitian ini menggunakan alat Gas Analyzer. Berikut ditunjukkan hasil pengujian gas metana pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Gas Metana

Percobaan	Hasil Pengujian Gas Metana				pH	
	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	H ₂ S (ppm)	Awal	Akhir
1	0	62.8	4.1	20	4,7	4,4
2	58.5	10	3.8	8	7,1	6,8
3	70.1	10.7	3.5	18	8,5	7,9
4	0	69.5	4.3	21	11,4	11,1
5	65.8	18.8	3.1	2	7,2	7,1

Dari pengujian gas metana yang dilakukan, percobaan yang memiliki nilai kandungan CH₄ tertinggi adalah percobaan 3 dengan kandungan CH₄ sebesar 70,1%, lalu diikuti percobaan 5 (65,8%) dan percobaan 2 (58,5%). Sedangkan pada pengujian percobaan 1 dan 4 kandungan CH₄ adalah 0%. Hal ini dikarenakan pada percobaan 1 memiliki nilai pH yang sangat rendah yaitu 4,4-4,7 , menurut Ceron Vivas dkk. (2019) menegaskan penurunan nilai pH dibawah 6,5 akan merusak kondisi lingkungan hidup bakteri metanogenik dimana bakteri tersebut hanya dapat tumbuh pada rentang pH 6,5-8,2 sehingga dibawah rentang tersebut mengakibatkan bakteri aktif mengalami penurunan kinerja atau hilang dan tidak terjadi proses produksi gas metana. Hal ini juga berlaku pada percobaan 5 yang memiliki nilai pH yang sangat tinggi yaitu berkisar 11,1-11,4, pada kondisi ini menyebabkan produksi berlebih CO₂ yang membuat

pertumbuhan bakteri metanogen menjadi terhambat dan mati (Rusdiyono dkk., 2017).

Berdasarkan pernyataan Rusdiyono dkk. (2017) yang menyatakan bahwa, agar pertumbuhan bakteri metanogen berlangsung dengan baik dan bekerja secara optimum maka pH harus dijaga pada kondisi optimum yaitu antara 6,8-7,2. Berdasarkan SOP pada pengolahan biogas LCKS di PT. XYZ, pH yang ideal untuk reaktor adalah berkisar antara 7,2-7,6 (bakteri metanogen bekerja optimum).

Degradasi COD Limbah

Degradasi COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau penurunan nilai COD merupakan parameter yang menggambarkan nilai kandungan bahan organik dalam suatu limbah cair baik yang *biodegradable* maupun *non-biodegradable*, dalam bentuk terlarut maupun tersuspensi (Hanum dkk., 2015). Nilai COD yang dimiliki raw LCKS sangat tinggi, pada penelitian ini nilai uji COD LCKS dapat mencapai nilai 90.000-100.000 mg/L. Berikut hasil uji laboratorium raw LCKS yang dimiliki PT. XYZ.

Tabel 5. Uji COD Raw LCKS

Parameter	Hasil Analisa	Metode
pH	4,35	SNI 06-6989.11-2004
COD (mg/L)	99.167	SNI 06-6989.2-2004
VFA (mg/L)	2.036	SMARTRI-IK-05-47

Dalam penelitian ini, setelah terjadi proses fermentasi limbah oleh bakteri anaerobik maka nilai COD limbah pada masing-masing percobaan akan berkurang. Berikut ditunjukkan hasil dari degradasi COD limbah pada Tabel 5.

Tabel 6. Degradasi COD Limbah

Percobaan	Kandungan COD Limbah		Degradasi COD Limbah (mg/L)	Degradasi COD Limbah (%)	pH Akhir
	COD Awal (mg/L)	COD Akhir (mg/L)			
1	92417	64708	27709	29.98	4,4
2	93750	20167	73583	78.49	6,8
3	91292	26275	65017	71.22	7,9
4	92417	79583	12834	13.89	11,1
5	36986	6421	30565	82.64	7,1

Dari tabel 6 diatas menunjukkan bahwa sampel yang memiliki nilai degradasi tertinggi adalah percobaan 5 (82,64%), lalu diikuti oleh sampel 2 (78,49%), sampel 3 (71,22), sampel 1 (29,98%) dan sampel 4 (13,89%). Proses degradasi limbah pada percobaan 5 berlangsung dengan baik kondisi pH secara keseluruhan digester mulai dari hari 1-30 pengamatan memiliki nilai rentan pH 7,2-7,1, hal ini sesuai dengan pernyataan Ceron Vivas dkk. (2019) yang menyebutkan bahwa bahwa bakteri-bakteri pengurai dapat hidup dan bekerja secara optimum pada rentan pH 6,5-8,2 sehingga proses fermentasi dapat berjalan dengan baik hingga tahap akhir metanogenesis. Sedangkan pada percobaan 1 (pH 4,4) yang memiliki pH sangat rendah dan percobaan 4 (pH 11,1)

yang memiliki pH yang sangat tinggi menyebabkan bakteri-bakteri pengurai mati sehingga proses fermentasi tidak berjalan dengan baik dan berhenti tidak sampai pada tahap akhir metanogenesis dan berdampak pada berhentinya proses degradasi limbah.

KESIMPULAN

Dari penelitian dan pemaparan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Hasil produksi biogas, laju produksi biogas, hasil uji metan tertinggi selama 30 hari pengamatan diperoleh pada percobaan 3 yang memiliki komposisi larutan kotoran sapi, LCKS dan larutan abu tankos dengan perbandingan 1 : 1 : 2 dengan nilai hasil produksi biogas 58.646 ml dan laju produksi biogas sebesar 113,30 ml/jam dan CH₄ (70,1%).
2. Hasil degradasi COD tertinggi diperoleh pada pecobaan 5 dengan komposisi 20 L kotoran sapi dapat menurunkan kadar COD sebesar 82,64%.
3. Penambahan Abu tankos pada LCKS dapat meningkatkan pH LCKS secara signifikan dan meningkatkan produksi biogas dengan konsentrasi yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

Ceron Vivas, A., Caceres, K. T., Rincon, A., & Cajigas, A. A. (2019). *Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater*. Revista

Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (92), 70-79.

Direktorat Jenderal Perkebunan. (2019). *Statistik Perkebunan Indonesia. Kelapa Sawit*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.

Garritano, A. N., de Oliveira Faber, M., De Sa, L. R., & Ferreira Leitao, V. S. (2018). *Palm oil mill effluent (POME) as raw material for biohydrogen and methane production via dark fermentation*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 92, 676-684.

Hanum, F., Tambun, R., Ritonga, M. Y., & Kasim, W. W. (2015). *Aplikasi elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit*. Jurnal Teknik Kimia USU, 4(4), 13-17.

Haryanto, A., Sugianti, C., Triyono, S., & Apria, N. E. (2018). *Biogas production from oil palm empty fruit bunches through dry fermentation process*. Preliminary Results.

Hasanudin, U., Sugiharto, R., Haryanto, A., Setiadi, T., & Fujie, K. (2015). *Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries*. Water science and technology, 72(7), 1089-1095.

- Irvan, B. Trisaksti, V. Wongistani, & Y. Tomiuchi. (2012). *Methane Emission from digestion of palm oil mill effluent (POME) in thermophilic anaerobic reactor*. International Journal of Science and Engineering, 3: 32-35.
- Mujdalipah, S., S. Dohong, A. Suryani, & A. Fitria. (2014). *Pengaruh waktu fermentasi terhadap produksi biogas menggunakan digester dua tahap pada berbagai konsentrasi Palm Oil Mill Effluent (POME) dan lumpur aktif*. AGRITECH. 34: 56-64.
- Mustafa, M. Y., Calay, R. K., & Roman, E. (2016). *Biogas from organic waste-a case study*. Procedia Engineering, 146, 310-317.
- Nisrina, H., & Andarani, P. (2018). *Pemanfaatan limbah tahu skala rumah tangga menjadi biogas sebagai upaya teknologi bersih di laboratorium pusat teknologi lingkungan-BPPT*. Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan, 15(2), 139-147.
- Rajani, A., Santosa, A., Saepudin, A., Gobikrishnan, S., & Andriani, D. (2019). *Review on biogas from palm oil mill effluent (POME): challenges and opportunities in Indonesia*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 293: 1-12.
- Rizal, T. A., Mahidin, M., & Ayyub, M. (2015). *Pengembangan anaerobic digester untuk produksi biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit*. Jurnal Umum Teknik Terapan, 2(02), 8-27.
- Rusdiyono, A. P., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. (2017). *Perancangan Alat Ukur Konsentrasi Gas Metan Dari Anaerobic Baffled Reactor (abr) Semi-kontinyu Dengan Substrat Susu Basi*. eProceedings of Engineering, 4(1).
- Sompong, O., Boe, K., & Angelidaki, I. (2012). *Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production*. Applied Energy, 93, 648-654.
- Widarti, B. N., Susetyo, S. H., & Sarwono, E. (2015). *Degradasi COD limbah cair dari pabrik kelapa sawit dalam proses pembentukan biogas*. Jurnal Integrasi Proses, 5(3).
- Warsito, J., Sabang, S. M., & Mustapa, K. (2016). *Pembuatan pupuk organik dari limbah tandan kosong kelapa sawit*. Jurnal Akademika Kimia, 5(1), 8-15.