

## KARAKTERISTIK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK MINYAK KELAPA SAWIT DALAM BIOREAKTOR CIGAR SEMI KONTINU

### CHARACTERISTIC OF PALM OIL MILL WASTE WATER TREATMENT USING SEMICONTINUE ANAEROBIC CIGAR BIOREACTOR

Oleh:

**Shintawati<sup>1)</sup>, Udin Hasanudin<sup>1)</sup>, Agus Haryanto<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Bojonegoro, No. 1, Bandar Lampung 35145. Email : [shintawatisatria@gmail.com](mailto:shintawatisatria@gmail.com)

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Bojonegoro, No. 1, Bandar Lampung 35145

Naskah ini diterima pada 28 Februari 2017; revisi pada 20 April 2017;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 15 Juni 2017

#### ABSTRACT

*Palm oil mill effluent (POME) waste water contains high concentration of organic pollutants. Anaerobic treatment is suitable to reduce the pollutants and also produce methane as one of renewable energy sources. Anaerobic degradation is complicated and sensitive process to the environment, such as temperature and organic concentration. This study aims to determine characteristic of palm oil mill waste water treatment using semicontinue anaerobic CIGAR bioreactor. The seed was collected from sludge of anaerobic pond at POME treatment facility of PTPN VII Bekri. The substrate used in this experiment was fresh POME from the same mill. Initially, 4,375 m<sup>3</sup> of sludge was introduced into the bioreactor. The seed was acclimatized at a loading rate of 50 l/day for about a week. Anaerobic treatment was conducted at room temperature and the substrate was fed semicontinuously at a loading rate of 100 to 350 liter/day. Results showed, that the stability of anaerobic degradation was achieved at an organic loading rate (OLR) of 0,9-3,11 kg/m<sup>3</sup>/day with COD removal more than 90% and maximum biogas production of 2,59 m<sup>3</sup>/day.*

*Keywords : palm oil mill effluent, anaerobic bioreactor, COD removal, biogas.*

#### I. PENDAHULUAN

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menjadi minyak sawit kasar atau CPO (*crude palm oil*) memerlukan air banyak, mencapai 1 - 2 m<sup>3</sup>/ton TBS. Oleh karena itu pabrik pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit (LCPKS) yang besar. Pabrik yang efisien menghasilkan LCPKS antara 0,6 - 0,7 m<sup>3</sup>/ton TBS (Simanjuntak, 2009). Pabrik yang tidak efisien bisa menghasilkan LCPKS antara 1,0 m<sup>3</sup>/ton TBS (Rahayu dkk., 2015). Rendemen CPO sebagai produk utama biasanya kurang dari 25% dari TBS. Karena itu, setiap ton CPO yang diproduksi akan menghasilkan LCPKS antara 2,5-3,0 m<sup>3</sup>. LCPKS berwarna coklat pekat, kental, tinggi kandungan organik, mengandung unsur hara yang dibutuhkan tanaman (Naibaho, 1998) dan

memiliki bau yang tidak memenuhi estetika (Ibrahim, 2009; Bala *et al.*, 2015). Tanpa pengolahan yang baik LCPKS berpotensi mencemari lingkungan berupa penurunan kualitas perairan, penurunan kualitas udara dan penurunan kualitas air tanah.

Industri minyak kelapa sawit kasar di Provinsi Lampung melakukan pengolahan limbah cair secara anaerobik konvensional. Pada umumnya pengolahan LCPKS dilakukan menggunakan serangkaian kolam-kolam terbuka yang diikuti dengan aplikasi di lahan (*land application*) atau kolam aerob (Hasanudin *et al.*, 2015). Pengolahan anaerobik konvensional memiliki waktu tinggal yang panjang yaitu 20-200 hari (Bala *et al.*, 2014; Poh and Chong, 2009), lahan yang luas serta pengumpulan dan pemanfaatan gas CH<sub>4</sub> sulit untuk dilakukan (Yejian *et al.*, 2008).

Dari kolam anerobik gas metana ( $\text{CH}_4$ ) akan lepas. Gas  $\text{CH}_4$  memiliki dua sisi yang berbeda yaitu sebagai sumber energi terbarukan serta sebagai salah satu senyawa gas rumah kaca (GRK). Potensi GRK gas  $\text{CH}_4$  adalah 21 kali dari potensi GRK gas  $\text{CO}_2$ . Gas ini dapat ditangkap dengan cara melakukan penutupan kolam. Pemanfaatan biogas pada pabrik minyak kelapa sawit kasar berdampak berkurangnya emisi GRK secara signifikan (Vijaya, 2010).

Salah satu cara pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit yang lebih ramah lingkungan adalah pengolahan anaerobik dalam tangki bioreaktor tertutup. Pengolahan limbah secara anaerobik peka terhadap kondisi sekitar seperti temperatur, pH dan seringkali mengalami kegagalan. Jenis bioreaktor dan metode operasional pengolahan anaerobik juga menentukan keberhasilan dan keberlangsungan proses pengolahan. Hingga tahun 1998 di Amerika Serikat kegagalan sistem pengolahan anaerobik untuk reaktor CSTR (*completely stirred tank reactor*) dan reaktor *plug-flow* masing-masing mencapai 70 dan 63% (Labatut, 2014).

Penguraian anaerobik merupakan proses yang kompleks dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama berlangsungnya penguraian. Salah satu faktor yang memicu kegagalan operasional pengolahan limbah cair secara anaerobik adalah tingginya beban organik yang diumpangkan. Tingginya konsentrasi substrat mengakibatkan penumpukan asam-asam volatil yang berdampak menurunkan pH sistem. Penurunan pH sistem mengakibatkan bakteri metanogenik yang bekerja pada pH 6,5-7,8, tidak dapat bekerja secara optimal untuk mengkonversi asam asetat menjadi gas metana. Penurunan pH hingga 6,5 dapat mengakibatkan kegagalan proses secara keseluruhan. Sebaliknya, pengumpanan substrat dalam jumlah sedikit membutuhkan waktu yang lama untuk mengkonversi senyawa organik serta volume bioreaktor yang besar (Abdurahman dan Azhari, 2013), meskipun efisiensi degradasi senyawa organik menjadi tinggi. Peningkatan laju volume LCPKS yang diumpangkan ke bioreaktor juga dapat mengakibatkan jumlah mikroba keluar bioreaktor melebihi pertumbuhan mikroba dalam bioreaktor (*wash out*). Kejadian *wash out*

akan menurunkan intensitas kontak antara substrat dan mikroba sehingga dapat mengganggu stabilitas degradasi anaerob. Dibandingkan metode batch, pengumpanan substrat secara semikontinu dapat mengolah substrat dengan konsentrasi tinggi dimana substrat diumpangkan secara bertahap. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dalam bioreaktor tertutup dengan pengumpanan semi-kontinyu.

## II. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai bulan Desember 2015 di Laboratorium Limbah, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

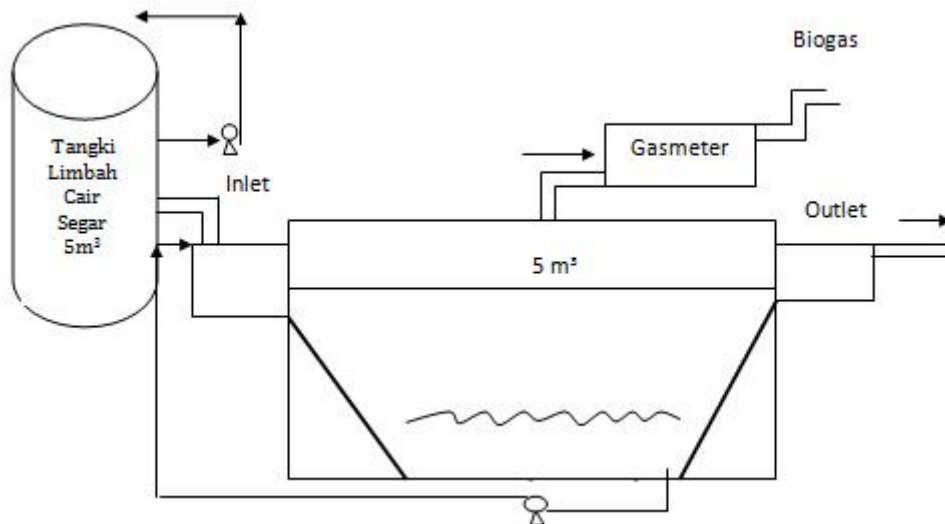
### 2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpur anaerobik dari kolam ke-2 dan limbah segar dari kolam pertama setelah cooling pond PTPN VII Unit Usaha Bekri Kecamatan Bekri Kabupaten Lampung Tengah. Bahan kimia untuk analisa meliputi aquades,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat,  $\text{HgSO}_4$ ,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , tissue, gas nitrogen, gas hydrogen, gas helium.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat bioreaktor dengan kapasitas  $5\text{m}^3$ , tangki  $5\text{m}^3$ , pH meter HM-20P, neraca analitik, desikator, furnace model EPTR-13K, gas meter, sampler bag, seperangkat alat gas chromatography (GC)-2010AF Shimadzu, cawan porselen, sentrifuga, reactor unit DRB 200, HACH Spektrofotometri DR/4000U, Erlenmeyer, gelas ukur, gelas beker, labu takar, spatula, pinset, penjepit, pipet mikro, pipet tetes, botol semprot, sarung tangan dan masker.

### 2.3 Pelaksanaan Penelitian

Bioreaktor anaerobik tertutup atau CIGAR (*covered inside the ground anaerobic reactor*) memiliki kapasitas  $5\text{m}^3$  dengan volume kerja  $4,375\text{m}^3$  (Gambar 1). Bioreaktor CIGAR ini dibuat dari fiber glass dengan konstruksi dasar berbentuk miring. Bioreaktor dilengkapi dengan gas flowmeter. Limbah cair segar diperoleh dari pabrik pengolahan kelapa sawit PTPN VII Bekri, ditampung dalam tangki dengan volume  $5\text{m}^3$ .



Gambar 1. Design Bioreaktor Anaerobik 5m<sup>3</sup> Skala Pilot

Sebelum diumpkan ke bioreaktor, limbah cair segar disirkulasi selama 1 jam untuk memperoleh kondisi limbah cair yang homogen. Tahapan pelaksanaan penelitian disajikan pada Gambar 1.

a. *Aklimatisasi Mikroba.*

Tahap ini dimulai dengan pengambilan lumpur anaerobik dari kolam anaerobik PTPN VII Bekri. Mula-mula, lumpur anaerobik sebanyak 4 m<sup>3</sup> dimasukkan ke dalam bioreaktor. Selanjutnya, setiap hari dialirkan LCPKS segar yang telah disirkulasi sebanyak 50 liter/hari. Pengumpanan LCPKS dengan beban rendah dilakukan agar mikroba mengalami aklimatisasi. Hal ini dilakukan selama sekitar satu minggu.

b. *Perlakuan Variasi Laju Beban Organik dan Pengamatan.*

Mulai hari ke-6, laju pengumpanan LCPKS dinaikkan secara bertahap dari 200 hingga 350 l/hari. Seperti tahap sebelumnya, limbah segar juga disirkulasi selama 1 jam sebelum diumpangkan. Satu minggu sekali dilakukan sirkulasi dengan memompakan lumpur dibagian

dasar bioreaktor ke bagian inlet. Pengamatan pH air limbah dan produksi biogas dilaksanakan harian, sementara COD, TSS dan VSS dianalisa dua kali seminggu.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Karakteristik Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit**

Limbah cair pabrik minyak kelapa sawit bersifat panas (di atas temperatur ruang), berwarna coklat, kental dan memiliki bau yang khas. Karakteristik limbah cair pabrik minyak sawit diberikan pada Tabel 1. Karakteristik LCPKS yang digunakan dalam penelitian ini tidak jauh berbeda dari yang dilaporkan Ibrahim (2012) dari Malaysia. Tetapi nilai COD dan TSS jauh lebih rendah dari yang dilaporkan oleh Choorit dan Wisarnwan (2007) dari Thailand. Perbedaan skala dan teknologi yang digunakan dalam pengoperasian pabrik menjadi faktor penyebabnya.

Tabel 1. Karakteristik LCPKS yang digunakan dalam penelitian dan perbandingannya dengan LCPKS lain.

Karakteristik	Nilai		
	Penelitian ini	Thailand*	Malaysia**
pH	4,65-4,98	4,24-4,66	5,32
COD (mg/L)	57.000-60.400	95.465-112.023	50.500
TSS (g/L)	0,23-5,44	44,68-47,14	4,007
VSS (g/L)	0,17-4,23	-	3,66

\*) Choorit dan Wisarnwan (2007)

\*\*) Ibrahim (2012)

Nilai VSS pada penelitian ini berkisar antara 0,174-4,232 g/l. Padatan dalam VSS outlet juga mencakup mikroba yang terdapat pada aliran keluar air limbah, sehingga parameter VSS dapat mewakili konsentrasi mikroba dalam bioreaktor (Tchobanoglous, 2003). Selisih konsentrasi TSS terhadap konsentrasi VSS yang relatif kecil, berkisar 1,21-0,026 g/l, menunjukkan rendahnya fraksi tidak mudah terbakar dalam limbah cair pabrik minyak kelapa sawit.

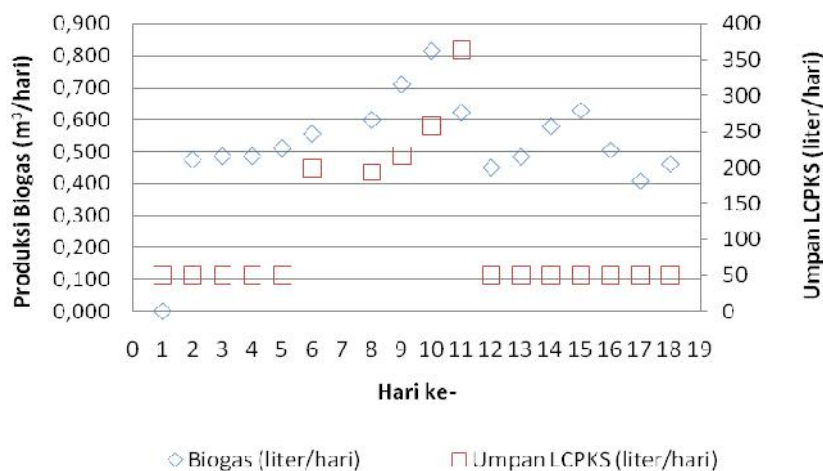
### 3.2 Aklimatisasi Mikroba

Gambar 2 menunjukkan pada hari kedua hingga hari kelima dengan pengumpanan air limbah 50 liter/hari, bioreaktor mampu menghasilkan biogas dengan laju relatif konstan yaitu 0,48-0,51 m<sup>3</sup>/hari. Hari ke-6 hingga ke-9 dilaksanakan peningkatan volume umpan air limbah, yaitu 200 s.d 258 liter/hari. Peningkatan volume umpan diikuti dengan peningkatan produksi biogas yaitu 0,556-0,816 m<sup>3</sup>/hari. Hari ke-11 peningkatan volume umpan menjadi 364 liter/hari mengakibatkan produksi

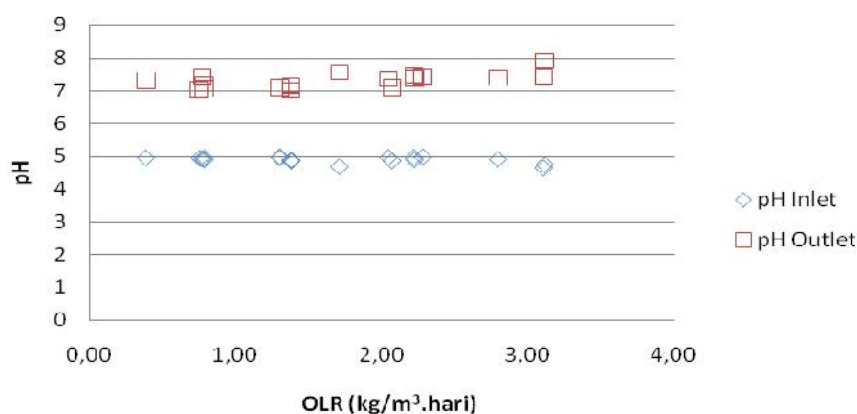
biogas menurun. Hari ke-12 hingga ke-18 pengumpanan volume umpan limbah cair kembali ke 50 liter/hari, biogas yang dihasilkan relatif stabil, yaitu berkisar 0,43-0,61 m<sup>3</sup>/hari. Pada volume umpan 364 liter/hari wash out, keluarnya mikroba dari bioreaktor belum terjadi. Produksi biogas hari ke-11 yang mengalami penurunan akibat pengumpanan 350 l/hari dan kembali normal pada hari ke-13 saat pengumpanan 50 l/hari, hal ini menunjukkan mikroba anaerobik dalam bioreaktor cepat beradaptasi terhadap perubahan volume umpan. Gambar 2 memperlihatkan salah satu kelebihan dari metode semi kontinu adalah dapat mengendalikan proses yang diakibatkan oleh tingginya konsentrasi substrat.

### 3.3 Pengaruh OLR terhadap Kestabilan Proses

Gambar 3 menunjukkan pH inlet limbah cair berkisar 4,65-4,98. pH inlet yang relatif konstan



Gambar 2. Pengaruh laju pembebanan terhadap produksi biogas pada tahap aklimatisasi mikroba anaerobik



Gambar 3. Pengaruh OLR terhadap nilai pH proses anaerobik dalam bioreaktor

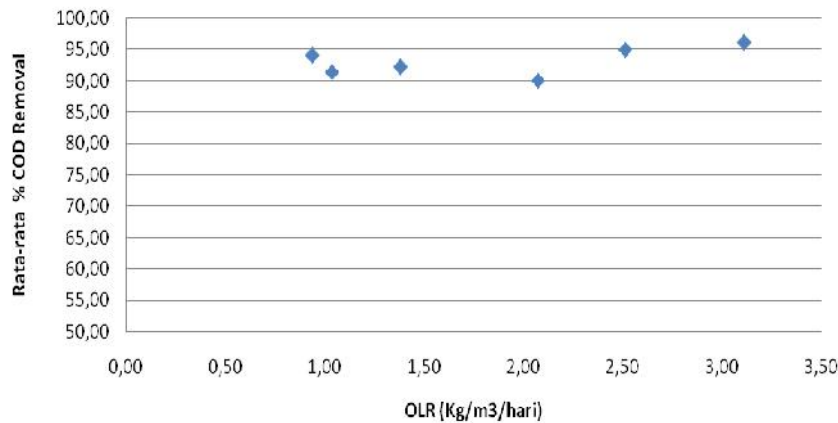
menunjukkan tidak adanya aktifitas mikroba dalam bak penampung limbah cair yang akan diumpankan. pH air limbah pada outlet yang berkisar 7,00-7,92, menunjukkan aktifitas metanogenik yang baik dalam bioreaktor. Salah satu indikator kestabilan proses pengolahan anaerobik adalah derajat keasaman (pH) (Hasanudin, 1993). Nwabanne and (2012) menyatakan pH 6,6-7,8 selama proses anaerobik menunjukkan kecukupan alkalinitas dari media dalam bioreaktor dan aktifitas bakteri metanogenik akan turun pada pH kurang dari 6,5.

Gambar 3 juga menunjukkan pada laju pembebanan organik (*organic loading rate* atau OLR) 3,11 kg/m<sup>3</sup> dalam bioreaktor belum terjadi *wash out* yang ditandai dengan pH yang relatif konstan. *Wash out* merupakan kejadian dimana laju terbentuknya mikroba baru lebih kecil dari laju mikroba yang keluar bioreaktor sehingga jumlah mikroba dalam bioreaktor semakin menurun dan dapat menimbulkan ketidakstabilan proses anaerobik. Kegagalan proses anaerobik juga dapat terjadi karena

bakteri metanogenik tidak dapat secara cepat mengkonversi hidrogen yang diperoleh dari proses acidogenik menjadi gas metana dan juga terjadi perlambatan fermentasi propionat serta butirat akibat penumpukan asam lemak volatil, yang dapat mengakibatkan kegagalan proses degradasi anaerobik (Tchobanoglous, 2003).

### 3.4 Pengaruh OLR terhadap Penyisihan COD dan Produksi Biogas

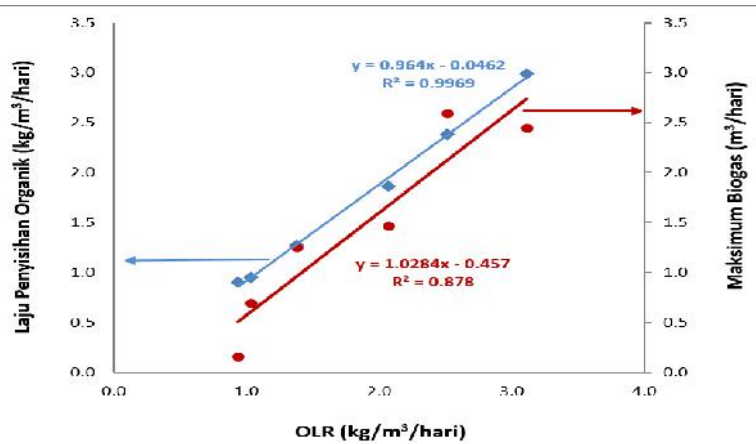
Gambar 4 menunjukkan bahwa pada OLR 0,9-3,2 kg/m<sup>3</sup>/hari rata-rata persentase penyisihan COD melebihi 90%. Persentase penyisihan COD maksimum mencapai 96,39% pada OLR 3,11 kg/m<sup>3</sup>/hari atau waktu tinggal 18 hari. Laju penyisihan organik menunjukkan kemampuan bioreaktor mengkonversi senyawa organik per hari. Laju penyisihan organik merupakan perkalian antara laju beban organik air limbah yang diumpankan ke dalam bioreaktor terhadap % COD removal rata-rata. Peningkatan laju penyisihan organik diharapkan akan meningkatkan biogas yang dihasilkan. Tabel 2 memperlihatkan hubungan OLR terhadap laju penyisihan organik dan biogas yang dihasilkan.



Gambar 4. Pengaruh OLR terhadap Penyisihan COD

Tabel 2. Laju Penyisihan Organik dan Produksi Biogas

Laju Beban Organik (kg.m <sup>-3</sup> .hari <sup>-1</sup> )	Laju Penyisihan COD (kg.m <sup>-3</sup> .hari <sup>-1</sup> )	Maksimum (m <sup>3</sup> .hari <sup>-1</sup> )	Biogas
0,94	0,88	0,16	
1,04	0,95	0,69	
1,38	1,27	1,25	
2,07	1,87	1,47	
2,51	2,39	2,59	
3,11	2,99	2,45	



Gambar 5. Pengaruh OLR terhadap Laju Penyisihan Organik dan Laju Produksi Biogas

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh OLR terhadap laju penyisihan organik dan laju produksi biogas. Laju produksi biogas maksimum pada masing-masing OLR mencapai nilai antara 0,69-2,59 m<sup>3</sup>/hari.

Pada OLR 3,11 kg.m<sup>-3</sup>.hari<sup>-1</sup>, laju produksi biogas mengalami penurunan meskipun laju penyisihan organik meningkat kemungkinan senyawa organik dalam bioreaktor mengalami pengendapan sehingga biogas yang dihasilkan mengalami penurunan. Pengendapan senyawa organik dapat memperkecil volume kerja bioreaktor. Salah satu cara untuk mengurangi pengendapan senyawa organik adalah dengan sirkulasi isi bioreaktor secara periodik. Pada penelitian ini, sirkulasi isi bioreaktor dilaksanakan 1 kali dalam seminggu selama 1 jam. Kelebihan metode pengadukan melalui mensirkulasi adalah investasi peralatan dan perawatannya tidak mahal. Dibutuhkan penelitian lanjut untuk mengetahui pengaruh frekuensi sirkulasi terhadap laju penyisihan organik dan produksi biogas yang dihasilkan. Laju biogas tertinggi dihasilkan pada OLR 2,51 kg.m<sup>-3</sup>.hari<sup>-1</sup> yaitu 2,59 m<sup>3</sup>.hari<sup>-1</sup> dengan laju penyisihan organik 2,39 kg.m<sup>-3</sup>.hari<sup>-1</sup> dan waktu tinggal 22 hari. Hal ini berarti lebih singkat dari waktu tinggal hidraulik sistem pengolahan dalam kolam terbuka yaitu 45-60 hari (Zinatizadeh, 2007).

#### IV. KESIMPULAN

Pengolahan LCPKS menggunakan kolam tertutup skala pilot dengan pengumpanan secara semi kontinyu menunjukkan kinerja yang baik.

Stabilitas pengolahan LCPKS tercapai pada laju pembebanan organik 0,9-3,11 kg/m<sup>3</sup>/hari dengan persentase penyisihan COD lebih dari 90% dan produksi biogas maksimum mencapai 2,59 m<sup>3</sup>/hari.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurahman N.H. and N.H. Azhari. 2013. Effect of Organic Loading Rate on The Performance of UAMAS in Treating POME. *Journal of American Science*, 9: 23-31.
- Bala, J.D., J. Lalung, and N. Ismail. 2014. Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment "Microbial Communities in an Anaerobic Digester": A Review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(6): 1-24
- Bala, J.D., J. Lalung, and N. Ismail. 2015. Studies on the reduction of organic load from palm oil mill effluent (POME) by bacterial strains. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4:1-10.
- Choorit, W. and P. Wisarnwan. 2007. Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3): 376-385.
- Hasanudin U. 1993. Pengolahan Limbah Cair Minyak Kelapa Sawit dengan Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap. *Tesis Master*. Program Studi Teknik Kimia, ITB, Bandung.

- Hasanudin, U, R. Sugiharto, A. Haryanto, T. Setiadi, and K. Fujie. 2015. Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries. *Water Science and Technology*, **72(7)**:1089-95.
- Ibrahim, A.H., I. Dahlan, M.N. Adlan, and A.F. Dasti. 2012. Comparative study on characterization of Malaysian palm oil mill effluent. *Research Journal of Chemical Sciences*, **2(12)**: 1-5.
- Labatut R.A. dan C A Gooch, Monitoring of Anaerobic Digestion Process to Optimize Performance and Prevent System Failure, Cornell University, diunduh September 2016,
- Naibaho P.M. 1998. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan. 306 halaman.
- Nwabanne, J.T., A.C. Okoye, and H.C. Ezedinma. 2012. Kinetics of Anaerobic Digestion of palm oil mill effluent. *Canadian Journal of Pure and Applied Science*, **6(1)**: 1877-1881.
- Poh, P.E. and M.F Chong. 2009. Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Bioresources Technology*, **100**: 1-9.
- Sarono. 2014. Strategi Pengurangan Gas Rumah Kaca Melalui Konversi Limbah cair Pabrik Kelapa Sawit Menjadi Energi Listrik, *Desertasi Doktor*. Program Studi Teknologi Industri Pertanian, IPB, Bogor.
- Simanjuntak, H. 2009. Studi korelasi antara BOD dengan unsur hara N, P, dan K dari limbah cair pabrik kelapa sawit (PKS). *Tesis Master*. Sekolah Pascasarjana, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Tchobanoglous G, F.L. Burton, and H.D. Stensel. 2003, *Waste Water Engineering Treatment and Reuse*, Mc Graw Hill, Fourth Edition, 1819 halaman.
- Vijaya S, A.N. Ma, dan Y.M, Choo. 2010. Capturing Biogas : A Means to Reduce Green House Gas Emissions for the Production of Crude Palm Oil, *American Journal of Geosciences*, **1**: 1-6.
- Yejian, Z., Y. Li, C. Lina, L Xiuhua, M. Zhijian, and Z. Zhenjia. 2008. Start-up and operation of anaerobic EGSB reactor treating palm oil mill effluent. *Journal of Environmental Sciences*, **20**: 658-663.
- Zinatizadeh, A.A.L., A.R. Mohamed, M.D. Mashitah, A.Z. Abdullah, and M. H. Isa. 2007. Optimization of pre-treated palm oil mill effluent digestion in an up-flow anaerobic sludge fixed film bioreactor: A comparative study. *Biochemical Engineering Journal*, **35**: 226-237.

Halaman ini sengaja dikosongkan