

Produksi Biohidrogen dari POME (*Palm Oil Mill Effluent*) Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Variasi Waktu Retensi Hidrolik

Adrianto Ahmad^{1*}, Evelyn¹, dan Dini Avriliani²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru - 28293

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru - 28293

*E-mail: adri@unri.ac.id

Abstract

Along with the increasing in the area of oil palm plantations, palm oil mill production has also increased. Palm oil mill produces liquid waste with high content of organic compounds. If it is discharged into waters it has the potential to reduce water quality and pollute the environment. Waste water treatment can be do with anaerobically and using anaerobic hybrid bioreactor. This study aims to test the stability and performance of anaerobic hybrid bioreactors with variations in HRT and parameters measured by COD (Chemical Oxygen Demand), acetic acid, VSS (Volatile Suspended Solid), volume of H₂ gas and H₂ gas. This operation is carried out by varying the hydraulic retention time and the working volume of the reactor 12,5 L, starting from the HRT of 6 hours with flow rate 2,0833 L/day, then the HRT 12 hours with flow rate 1,0417 L/day, and the last HRT 18 hours with flow rate 0,694 L/day. The highest reduction in COD was obtained was 5,200 mg/L with a COD removal efficiency of 92,2%, acetic acid 6 g/L, VSS 7,6 g/L. Thus the anaerobic hybrid bioreactor becomes the one alternative that can be used in treating liquid was that has a high enough organic content.

Keyword: Anaerob hybrid bioreactor, biohidrogen, COD, COD removal, POME

Pendahuluan

Kebutuhan akan energi yang semakin meningkat merupakan salah satu tantangan besar yang harus segera diselesaikan. Menurut Dewan Energi Nasional (2016), konsumsi energi final pada tahun 2015 dengan skenario BaU (*Business as Usual*) yaitu 128,8 MTOE (*Millions Tons Oil Equivalent*) dan diperkirakan akan meningkat 1,8 kali lipat pada tahun 2025 yaitu sekitar 238,8 MTOE jika dilihat dari rata – rata pertumbuhan penduduk pertahunnya yaitu sebesar 6,4%.

Produksi hidrogen dapat diperoleh dengan beberapa metode antara lain menggunakan proses termokimia, elektrokimia dan biologis (Norfadilah dkk., 2016). Dari beberapa metode tersebut, metode dengan proses biologis merupakan metode yang saat ini banyak digunakan, karena secara teknis metode ini lebih mudah dalam tahap pengerjaannya, ramah lingkungan, rendah energi yang diperlukan serta lebih ekonomis. Metode biologis ini lebih dikenal dengan istilah fermentasi. Suatu proses fermentasi dalam memproduksi hidrogen, setidaknya terdiri dari substrat dari agen biologis penghasil hidrogen (Norfadilah dkk., 2016). Substrat yang digunakan yaitu substrat yang memiliki konsentrasi COD yang tertinggi seperti limbah cair industri kelapa sawit atau dengan nama lain *Palm oil Mill Effluent* (POME).

Limbah hasil pengolahan kelapa sawit terdiri dari limbah padat dan limbah cair. Limbah padat yaitu tandan kosong kelapa sawit, cangkang, dan serat yang sebagian besar telah dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan istilah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit (Apriani, 2009) yang sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan secara optimal. POME memiliki konsentrasi COD dan BOD masing – masing mencapai 96.300 mg/L dan 53.200 mg/L (Sing dkk., 2013) sehingga dapat dimanfaatkan sebagai substrat dalam memproduksi biohidrogen.

Biohidrogen melibatkan beberapa tahapan proses yakni proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetogenesis dan metanogenesis. Secara umum keempat tahap proses ini dapat dipisahkan ke dalam dua fasa, yakni fasa asidogenesis dan fasa metanogenesis. Fasa asidogenesis terdiri dari fasa proses hidrolisis, proses asidogenesis dan proses asetogenesis, sedangkan fasa metanogenesis terdiri dari proses metanogenesis asetatotrof dan proses metanogenesis hidrogenotrof. Kinerja fasa metanogenesis sangat dipengaruhi oleh kinerja fasa asidogenesis, karena kelompok bakteri metanogen sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan dan hanya membutuhkan substrat

berupa asam asetat, gas H_2 dan CO_2 (Gujer dan Zehnder., 1983) yang dihasilkan dari fasa asidogenesis, selanjutnya kelompok bakteri metanogen mengubah asam asetat, H_2 dan CO_2 menjadi biogas.

Dikarenakan sangat sensitifnya bakteri metanogen pada proses biokonversi anaerob maka upaya yang dilakukan adalah dengan menentukan kondisi optimum pada bioreaktor hibrid anaerob dua fasa sehingga terjadinya keseimbangan antara substrat dengan pemanfaatannya substrat antara fase asidogenesis dan metanogenesis di dalam sistem. Kondisi optimum bioreaktor sangat dipengaruhi oleh waktu tinggal biomassa, karena semakin lama waktu tinggal biomassa maka akan semakin lama kontak bakteri anaerob dengan substratnya. Menurut Ng dkk. (1985) berusaha untuk memperbaiki kinerja proses anaerob dalam mengolah limbah cair dengan menggunakan digester anaerob dua fasa. Menurut Ahmad dkk. (2011) sistem ini merupakan bioreaktor tersuspensi yang mampu menyisihkan COD hingga 70% dengan waktu pengolahan 11 hari (1 hari pada fasa asidogenesis dan 10 hari pada fasa metanogenesis) (Ahmad dkk., 2011).

Sementara itu, Ahmad dan Setiadi. (1993) telah berhasil meningkatkan kinerja proses anaerob dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit dengan menggunakan bioreaktor unggun fluidisasi anaerob dua fasa. Sistem ini merupakan bioreaktor dengan pertumbuhan melekat yang mampu menyisihkan COD hingga 93% dalam waktu 5 hari (2 hari fasa asidogenesis dan 3 hari fasa metanogenesis).

Menurut Ahmad dkk. (2011) dalam penelitian yang dilakukan, waktu tinggal hidrolis dalam bioreaktor untuk asidogenesis berkisar dari 0,3; 0,5; 0,7 dan 1 hari dengan pemuatan COD berkisar dari 150, 100, 75 dan 50 kg/m^3 -hari, sedangkan waktu tinggal hidrolis dalam bioreaktor untuk metanogenesis adalah 1 hari dengan pemuatan COD 50 kg/m^3 -hari. Percobaan pemuatan organik selesai pada waktu tinggal hidrolis bersamaan dari bioreaktor metanogenesis dan asidogenesis adalah 0,5; 0,7 dan 1 hari dengan pemuatan COD berkisar dari 150, 100, dan 50 kg/m^3 -hari. Hasil yang diberikan bahwa waktu tinggal hidrolis optimum pada 1,5 hari (0,5 asidogenesis dan 1 hari metanogenesis) dengan efisiensi penyisihan COD 84% mampu menghilangkan COD dari 92 $kgCOD/m^3$ -hari dengan kualitas *effluent* 8000 $mgCOD/L$ dan kandungan nutrisi (NPK), yang relatif baik dan perolehan gas metana dari 43 $m^3/kgCOD$. Selain itu, sistem stabilitas relatif baik dengan rasio asam lemak volatil dan alkalinitas 0,052.

Namun demikian, sistem tersebut belum memberikan hasil yang memuaskan karena waktu tinggal hidrolis yang dibutuhkan relatif lama sehingga dinilai tidak ekonomis oleh pihak pabrik kelapa sawit. Untuk mengantisipasi fenomena tersebut maka diupayakan penggabungan sistem bioreaktor tersuspensi dan sistem bioreaktor melekat yang disebut sebagai bioreaktor hibrid anaerob dua fasa dalam rangka memperpanjang waktu tinggal biomassa dan memperpendek waktu tinggal hidrolis (WTH). Bioreaktor hibrid anaerob dua fasa menggunakan dua buah unit bioreaktor hibrid anaerob. Bioreaktor hibrid anaerob pertama dikondisikan sebagai bioreaktor asidogenesis dan bioreaktor anaerob kedua dikondisikan sebagai bioreaktor metanogenesis. Penggabungan ini memberikan keuntungan sinergi yakni sistem bioreaktor pertama mendegradasi senyawa organik menjadi asam asetat kemudian bioreaktor kedua mendegradasikan asam asetat menjadi biogas dan karbon dioksida (Ahmad dkk., 2011).

Tujuan dari penelitian ini memproduksi biohidrogen melalui fermentasi bioreaktor hibrid anaerob secara kontinu dengan substrat limbah cair industri kelapa sawit (POME) menggunakan sumber mikroorganisme yang berasal dari lumpur bakteri. Dan menentukan pengaruh variasi waktu retensi hrolis yang optimum untuk mengkaji banyaknya jumlah biohidrogen yang terbentuk dan meliputi COD, volume gas, VSS dan gas H_2 . Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, sebagai referensi teknologi proses produksi biohidrogen khususnya di daerah Riau, dan dapat mengurangi kelangkaan bahan bakar yang dihadapi saat ini.

Metodologi Penelitian

Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) dan lumpur bakteri kolam 2 yang diperoleh dari PTPN V Sungai Pagar, Kabupaten Kampar, larutan garam jenuh, gas nitrogen, dan batu. Sedangkan bahan untuk analisis antara lain larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,05 M, katalis $AgSO_4$, larutan ferroamonium sulfat (FAS) 0,05 M indikator ferroin, aquadest, dan sampel yang akan dianalisa.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, gelas ukur, seperangkat alat bioreaktor hibrid, gelas ukur 2 L, selang, dan wadah penampungan. Sedangkan alat untuk analisa adalah pipet tetes, buret, pH meter, pompa air, alat gelas untuk analisa COD.

Variabel Tetap dan Bebas

Variabel tetap pada penelitian ini adalah pH sistem yang diatur pada pH 5,5 berdasarkan penelitian Norfadilah dkk. (2016), temperatur suhu mesofilik yaitu $37^{\circ}C$ dari penelitian Norfadilah dkk. (2016), perbandingan *sludge*:air yaitu 1:1 dan volume kerja yang digunakan adalah 12,5 liter. Variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu retensi hidrolis (WTH) yang divariasikan yaitu 6 jam, 12 jam, dan 18 jam.

Persiapan Bahan Baku

POME yang diambil langsung dari PTPN V Sungai Pagar Kabupaten Kampar. Setelah itu POME diukur kadar COD, pH, asam asetat, dan VSS. Kemudian ditambahkan air dan dicampurkan. Substrat yang dibutuhkan sekitar 9,6 liter. Dan perbandingan *sludge*: air yaitu 1:1.

Tahap Perangkaian Alat

Penelitian ini menggunakan seperangkat alat bioreaktor hibrid anaerobik yang terdiri dari tangki *influent*, pipa inlet, badan reaktor, leher angsa, pompa, tangki *effluent*, kontrol, dan gelas ukur dilengkapi dengan wadah penampung larutan garam yang berfungsi sebagai penangkap biogas. Badan reaktor terdiri dari 2 kompartemen utama yaitu kompartemen yang bersekat dan kompartemen yang diisi media. Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu dengan ukuran diameter 2,5 cm dan ketinggian media $\frac{3}{4}$ dari ketinggian cairan di dalam bioreaktor.

Tahap Start Up

Biomassa dari proses aklimatiasi dimasukkan kedalam badan bioreaktor. Setelah itu diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem dengan harapan dapat mengusir oksigen terlarut dalam cairan, lalu didiamkan selama 3 hari. Hal ini bertujuan untuk mengendapkan biomassa dari kultur campuran.

Limbah *sludge* yang akan diolah, selanjutnya dimasukkan ke dalam tangki umpan. Dengan menggunakan pompa, limbah *sludge* dialirkan ke dalam bioreaktor dengan mengontrol bukaan *valve* sehingga diperoleh WTH 6, 8 dan 12 jam. Aliran limbah *sludge* didalam bioreaktor adalah turun naik mengikuti sekat – sekat yang ada akhirnya aliran akan keluar menuju tangki *effluent*. Panambahan umpan ini bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan biofilm. Keluaran dari hasil *start-up* ditampung dan diambil sebanyak 500 ml untuk dianalisis. Proses *start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan fluktuasi efisiensi penyisihan COD dibawah 10%.

Tahap Kontinu

Setelah keadaan tunak pada proses *start up* dicapai, maka variasi waktu tinggal hidrolik dalam bioreaktor dapat dilakukan. Variasi dilakukan dengan mengubah waktu tinggal hidrolik yaitu 6 jam, 12 jam, dan 18 jam. Sampel diambil setiap hari dan dua hari sekali untuk analisa parameter pH dan asam volatile sebagai asam asetat. Analisis tersebut dilakukan sesuai dengan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, and WPCF., 1992).

Analisis Data

Analisa COD

Sampel diambil untuk diketahui konsentrasi COD setiap harinya.

$$COD = \frac{(V_{FAS\ blanko} - V_{FAS\ sampel})}{V_{sampel}} \times MFAS \times 8 \times 1000 \times faktor\ pengenceran \quad (1)$$

Analisa VSS

Sampel diambil untuk ukur nilai VSS.

$$VSS = \frac{B-A}{V_{sampel}} \times 1000 \left(\frac{mg}{L}\right) \quad (2)$$

Volume Biogas

Volume biogas yang ditampung dengan gelas ukur yang diterbalikkan. Lalu dilihat setiap hari pertambahan volume biogasnya.

Hasil dan Pembahasan

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair pabrik kelapa sawit yang diambil pada PTPN V Sei Pagar, Kabupaten Kampar dengan karakteristik ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	4,7
TVS	mg/L	600
VSS	mg/L	760
COD	mg/L	52.000

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kandungan padatan limbah cair kelapa sawit memiliki nilai yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. pH baku mutu lingkungan untuk limbah cair kelapa sawit adalah sekitar 6 sampai 9, sedangkan untuk VSS 200-400 mg/L, dan COD baku mutu lingkungannya adalah 100-300. Oleh karena itu, harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu dengan memanfaatkan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu sebelum dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan dari Tabel 1, POME yang diperoleh memiliki konsentrasi COD yang sangat tinggi sehingga cocok untuk dijadikan substrat dalam produksi biohidrogen.

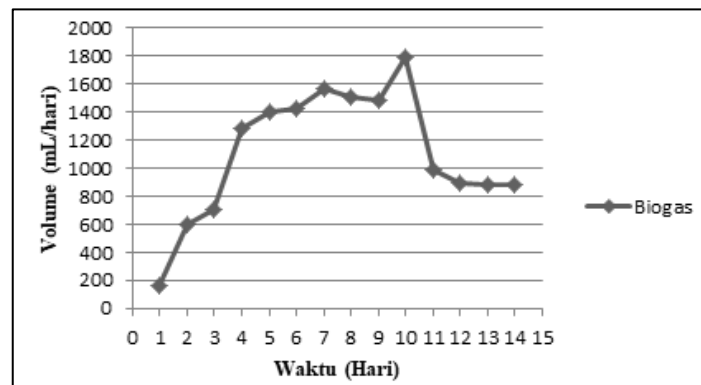
Standarisasi Produktivitas Biogas

Dalam penelitian ini dilakukan standarisasi produktivitas biogas terlebih dahulu untuk mengetahui bahan – bahan yang aktif dalam memproduksi biogas. Bahan – bahan yang digunakan dalam proses standarisasi ini yaitu lumpur bakteri dan POME segar.

Berdasarkan hasil standarisasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa bahan yang memiliki potensi dalam memproduksi biogas yaitu lumpur bakteri. Karena didalam lumpur bakteri mengandung mikroba penghasil biogas seperti *Clostridium thermocellum*, *Methanobacterium sp*, dan *Syrtrophomonas sp*. Bakteri tersebut menyebabkan lumpur bakteri dapat memproduksi biogas. Namun, pada percobaan POME segar yang diinkubasi selama 7 hari, biogas tidak terbentuk. Hal ini dikarenakan oleh POME tidak memiliki mikroba penghasil biogas seperti pada lumpur bakteri. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat fermentasi, penggunaan POME selama fermentasi hanya sebagai substrat dan bukan agen penghasil biogas.

Nilai Biogas Tahap *Start-up*

Hubungan antara waktu *start-up* terhadap produksi biogas pada bioreaktor hibrid anaerob ditampilkan dalam Gambar 1.

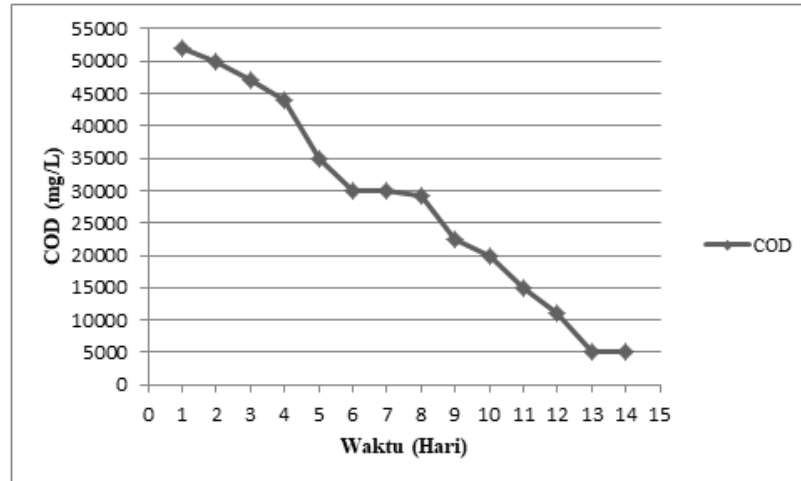


Gambar 1. Hubungan antara waktu terhadap produksi biogas tahap *start-up*

Dari Gambar 1. Menunjukkan bahwa produksi biogas pada tahap *start-up* cenderung mengalami fluktuasi pada awal pengolahan (1-14 hari *start-up*), karena degradasi senyawa organik berlangsung sedikit, ini digambarkan dengan rendahnya nilai penyisihan COD. Hari ke-12 sampai ke-14, terjadi penurunan produksi biogas. Produksi biogas pada hari ke-12 yaitu sekitar 894,90 mL/hari, hari ke-13 yaitu sekitar 879,2 mL/hari, dan hari ke-14 yaitu 879,2 mL/hari. Produksi gas pada hari ke-12 sampai ke-14 ini mengalami penurunan hal ini disebabkan substrat yang menjadi nutrisi untuk bakteri relatif berkurang karena telah terfermentasi. Laju produksi biogas tertinggi terjadi pada hari ke-10 yaitu sebesar 1.785,88 mL/hari. Bila dibandingkan dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob menurut Ahmad (2001) pada kondisi *start-up* menghasilkan produksi biogas sebesar 1.800 mL/hari dalam waktu 47 hari, sementara itu Atikalida (2010) menggunakan limbah cair sawit dengan media cangkang sawit mendapatkan produksi biogas 567 mL/hari. Ini membuktikan bahwa degradasi senyawa-senyawa organik oleh bakteri metanogenik akan menghasilkan biogas (CH₄).

Nilai COD Tahap *Start-up*

Hubungan antara perubahan nilai COD efluen pada biorektor hibrid anaerob terhadap waktu *start-up* ditampilkan dalam Gambar 2. Pada tahap *start-up* digunakan limbah cair kelapa sawit dari PTPN V Sei Pagar dengan kadar COD influen 52.500 mg/L setiap hari untuk meningkatkan konsentrasi biomassa mempertahankan pertumbuhan biofilm pada media batu.



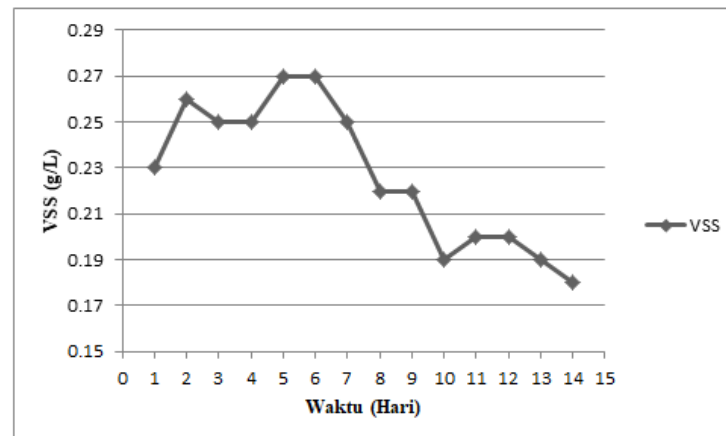
Gambar 2. Hubungan Antara Waktu Terhadap Nilai COD Tahap *Start-up*

Berdasarkan Gambar 2. menunjukkan bahwa nilai COD menurun dan mulai *steady state* pada hari ke-13 sampai ke-14. Selama proses *start-up*, nilai COD menurun dari 52.500 mg/L menjadi 5.200 mg/L. Pada hari pertama mengalami penurunan COD menjadi 52.000 mg/L. Penurunan yang tinggi ini membuktikan bahwa mikroorganisme anaerobik dapat beraktivitas dengan tinggi dalam mengolah limbah cair yang digunakan (Panca, 2008). Pada hari ke-13 dan ke-14, nilai COD menunjukkan fluktuasi 10% yaitu 5.200 mg/L dan 5.200 mg/L. Konsentrasi COD dengan fluktuasi 10% ini menunjukkan bahwa sistem telah beradaptasi dengan substrat (limbah) yang digunakan (Hamonangan, 2001). *Start-up* memberikan kesempatan kepada mikroorganisme untuk dapat beradaptasi dengan limbah cair yang akan diolah (Hamonangan, 2001).

Menurut Atikalida (2010) yang mengolah limbah cair kelapa sawit dengan media cangkang sawit didapatkan nilai COD terendah 7.000 mg/L dengan proses *start-up* 45 hari. Sementara itu, Luturkey, (2011) mengolah limbah cair minyak sawit didapatkan nilai COD terendah untuk media tandan kosong sawit dan media pelepah sawit sebesar 10.000 mg/L dengan lama waktu *start-up* 32 hari.

Nilai VSS pada Tahap *Start-up*

Hubungan antara perubahan nilai VSS terhadap waktu start-up ditampilkan pada Gambar 3.

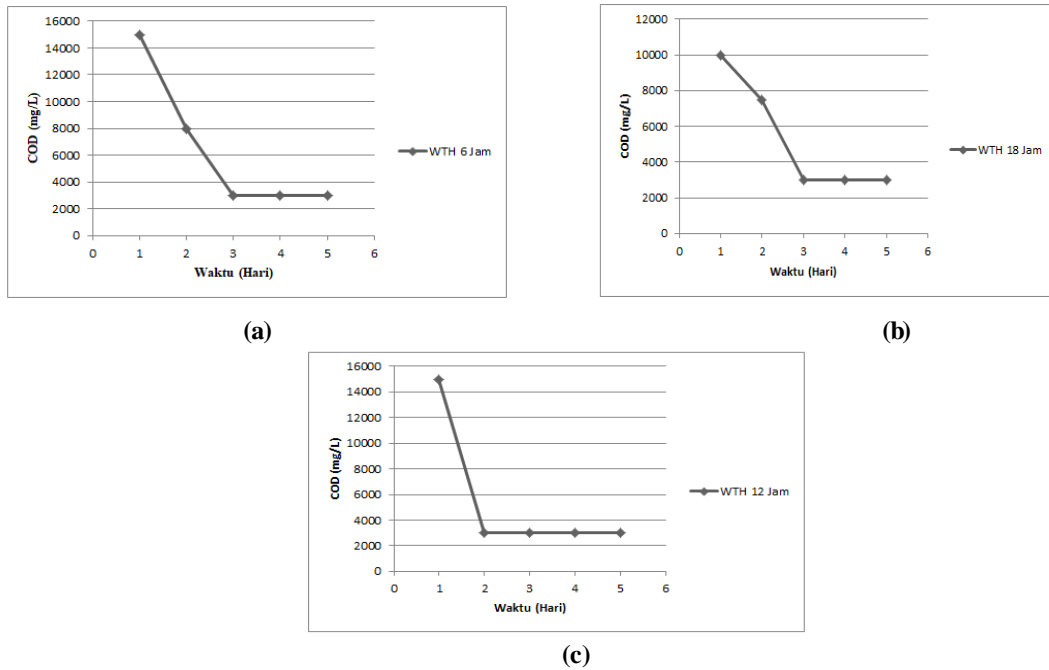


Gambar 3. Hubungan Antara Waktu Terhadap Nilai VSS

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi padatan cenderung mengalami penurunan, meskipun mengalami penurunan yang sedikit terhadap nilai konsentrasi padatan. Penurunan ini menunjukkan bahwa mikroorganisme telah beradaptasi dengan baik terhadap limbah yang akan diolah sehingga mampu mendegradasi senyawa organik yang terdapat di dalam limbah cair (Ahmad, 2004).

Nilai COD Tahap Kontinu dengan Waktu Tinggal Hidrolik 6 Jam, 12 Jam dan 18 Jam

Dalam kontinu menggunakan waktu retensi hidrolik 6, 12 dan 18 Jam dapat dilihat pada Gambar 4, yang menjelaskan hubungan antara perubahan nilai COD efluen pada bioreaktor hibrid anaerob terhadap waktu.

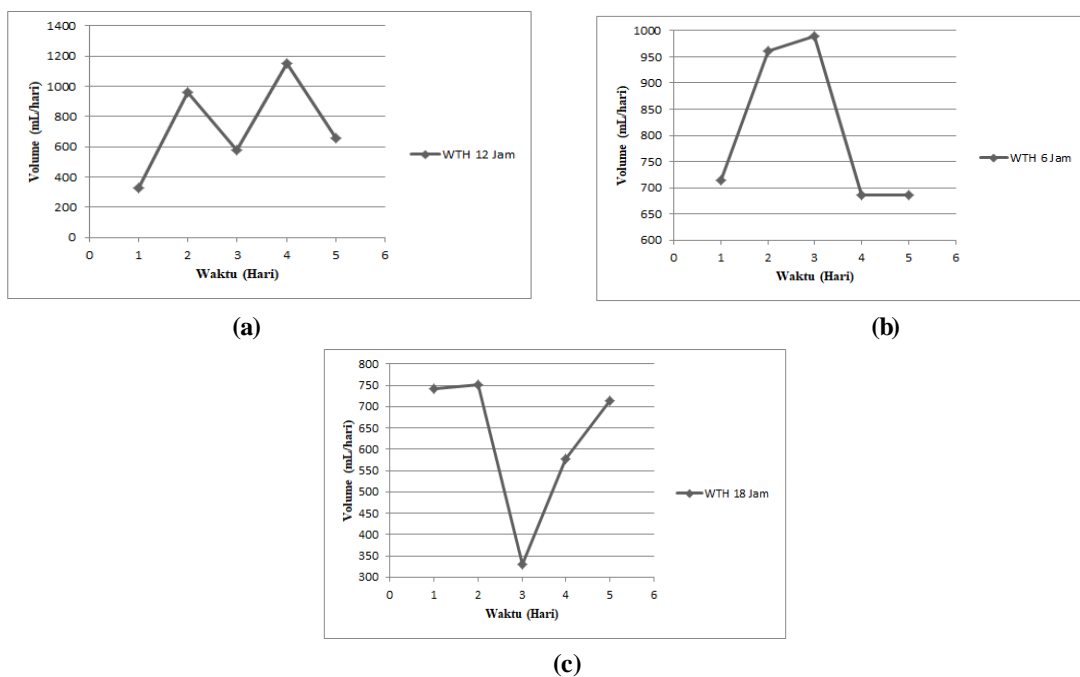


Gambar 4. Hubungan Antara Perubahan Nilai COD Efluen Terhadap Waktu dengan Variasi Waktu

Gambar 4. Dapat dilihat bahwa perubahan nilai COD cenderung menurun. Menurunnya nilai COD pada tahap kontinu dengan WTH 6 jam, 12 jam dan 18 jam dari 52.500 mg/L menjadi 3.000 mg/L terjadi dalam waktu 5 hari setiap variasi waktu. Nilai COD terendah pada waktu 18 jam. Penurunan ini membuktikan bahwa pembentukan lapisan mikroorganisme pada media melekat berlangsung, dengan diikuti degradasi senyawa-senyawa organik kompleks yang menghasilkan biogas dan CO₂. Pendegradasi senyawa organik ini akan mempengaruhi terhadap nilai COD yang dihasilkan, yang artinya jika nilai COD rendah menunjukkan rendahnya kandungan senyawa organik di dalam air limbah.

Pembentukan Biogas Selama Tahap Kontinu

Perbandingan waktu antara volume biogas ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan Antara Waktu Terhadap Volume Biogas

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa produksi biogas pada tahap kontinu dengan menggunakan WTH cenderung mengalami kenaikan yang relative konstan, hal ini terjadi karena bakteri terjadi pada fase eksponensial (fase cepat), dimana bakteri telah menyesuaikan diri dengan media, sehingga metabolisme sel berlangsung dengan waktu regenerasi yang cepat. Produksi biogas pada WTH 18 jam sebesar 714,35 mL/hari. Penurunan produksi biogas terjadi pada WTH 6 jam, hal ini terjadi karena penurunan aktivitas bakteri disamping karena ketersediaan makanan bagi bakteri semakin berkurang hal ini terjadi karena sebagian substrat telah terfermentasi. Pada WTH 6 jam bakteri memasuki fase stasioner, dimana fase ini pertumbuhan bakteri mencapai keadaan maksimum dan bakteri yang aktif dan mati relatif seimbang karena nutrisi relatif sedikit, ini terbukti karena produksi gas pada WTH 6 jam mengalami penurunan disebabkan substrat menjadi sumber nutrisi untuk bakteri relative berkurang karena sebagian telah terfermentasi.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan.

1. Produksi biogas tertinggi pada tahap start-up yaitu sebesar 1785,88 MmL/hari.
2. Waktu retensi hidrolis akan berpengaruh terhadap waktu kontak antara mikroorganisme dengan substrat yang akan digunakan. Semakin lama waktu retensi hidrolis maka waktu kontak dengan substrat akan lebih lama sehingga proses degradasi senyawa organik berjalan dengan baik, Pada penelitian ini waktu retensi hidrolis yang optima adalah 18 jam 5 hari.
3. Produksi biogas pada tahap kontinu yaitu sebesar 714.35 mL/hari.

Daftar Pustaka

- Ahmad A dan T Setiadi. Pemakaian bioreaktor unggul fluidisasi anaerob dua tahap dalam mengolah limbah cair pabrik minyak sawit. PAU-Bioteknologi ITB, Bandung. Seminar Nasional Bioteknologi Industri 1993.
- Ahmad A. Biodegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dalam Sistem Bioreaktor Anaerob. Institut Teknologi Bandung, Disertasi Doktor, 2001.
- Ahmad A, Bahrudin, SZ Amraini, dan David A. Bioreaktor Hybrid Anaerob Dua Fasa Untuk Biokonversi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Prosiding SNTK TOPI 2011.
- Atikalidia M. Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dan Produksi Biogas Limbah cair Kelapa Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob bermedia Cangkang Sawit. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 2010.
- DEN. Outlook Energi Indonesia 2016. Jakarta: Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, 2016.
- Gujer W dan AJB Zehnder. Conversion Processes In Anaerobic Digestion. Wat. Sci. Tech. 1983; 15:127-167.
- Hamonangan S. Pengolahan Limbah Cair Minyak Kelapa Sawit dengan Gabungan Proses Anaerob-Membran. Institut Teknologi Bandung, Tesis magister, 2001.
- Norfadilah N, Raheem A, Harun R dan Ahamdun FR. Bio-hydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent (POME): A Preliminary Study. International Journal of Hydrogen Energy 2016; 41 (28): 11960-11964.
- Singh L, MF Siddiqui, A Ahmad, HA Rahim dan ZA Wahid. Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent Using Immobilized Mixed Culture. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 2013; 19: 659-664.



Lembar Tanya Jawab

Moderator : M. Maulana. Azimatun Nur (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Indriana Lestari (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : M. Maulana Azimatun Nur (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah uji komposisi biogas sudah dilakukan?
Apakah COD sebesar 5.000 ppm masih dapat diturunkan nilainya, mengingat standar baku mutu lingkungan yang diijinkan untuk COD sekitar 300 ppm?
Jawaban : Belum dilakukan uji komposisi pada biogas, namun komposisi biogas umumnya terdiri dari CH₄, H₂S, CO₂ dan H₂. Pada penelitian ini kandungan tertinggi adalah gas H₂ karena proses pengolahan POME dilakukan sampai tahap asetogenesis saja.
COD sebesar 5.000 ppm dapat diturunkan nilainya setelah melewati proses kontinu.
2. Penanya : Indriana Lestari (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Berasal dari kolam limbah nomor berapakah POME yang digunakan?
Jenis bakteri apa sajakah yang digunakan dalam proses pembentukan biogas ini?
Jawaban : POME diambil dari kolam limbah nomor 1.
Bakteri yang digunakan adalah *Clostridium thermocellum*, *Methanobacterium sp*, dan *Sytrrophomonas sp*.
3. Penanya : Soeprijanto (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
Pertanyaan : Berapa persenkah konsentrasi gas CH₄ dan H₂ yang dihasilkan?
Jawaban : Persentase CH₄ dan H₂ belum bisa diketahui, karena kegiatan analisis terhambat pandemi.