

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU MENGGUNAKAN BIOREAKTOR ANAEROB SATU TAHAP DAN DUA TAHAP SECARA BATCH

TOFU LIQUID WASTE TREATMENT USING ANAEROB BATCH BIOREACTOR ONE STAGE AND TWO STAGE

Florence T.N. Silalahi*, Halimatuddahlia, dan Amir Husin
Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU, Padang Bulan, Medan 20155, Indonesia
*E-mail: florencesilalahi15@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pengolahan anaerob satu tahap dan dua tahap terhadap kinerja bioreaktor dalam pengolahan limbah cair tahu. Penelitian ini dimulai dengan aklimatisasi yaitu proses adaptasi mikroorganisme yang berasal dari kotoran sapi dengan limbah cair tahu. Aklimatisasi dilakukan dalam suasana asam (pH 5,5) dan dalam suasana netral (pH 7). Kemudian dilanjutkan dengan pengoperasian bioreaktor secara *batch* selama 40 hari untuk pengolahan anaerob satu tahap (pH 7), sementara untuk tahap pertama pengolahan anaerob dua tahap (pH 5,5) berlangsung dua hari dan dilanjutkan dengan tahap kedua pengolahan anaerob dua tahap (pH 7) yang berlangsung 38 hari. Hasil yang diperoleh adalah efisiensi penyisihan COD 76,6% untuk anaerob satu tahap dan 83,05% untuk anaerob dua tahap. Sementara konsentrasi VFA pada tahap pertama anaerob dua tahap meningkat sebesar 33% dari anaerob satu tahap. *Yield* biogas anaerob satu tahap sebesar 0,24 L/g COD_{terkonversi} dan 0,27 L/g COD_{terkonversi} untuk anaerob dua tahap.

Kata kunci: bioreaktor anaerob satu tahap, bioreaktor anaerob dua tahap, limbah cair tahu, pH.

Abstract

This research aimed to study the effect of one stage and two stage anaerobic fermentation on the performance of bioreactors in tofu liquid waste treatment. This research started with acclimatization that is adaptation process of microorganism derived from cow dung with tofu liquid waste. Acclimatization is carried out in acid condition (pH 5.5) and in neutral condition (pH 7). This is followed by a batch bioreactor operation for 40 days for one stage anaerobic fermentation (pH 7), while for the first stage of the two stage anaerobic fermentation (pH 5.5) lasted two days and proceeds with the second stage of the two stage anaerobic fermentation (pH 7) lasts 38 days. The results obtained were COD removal efficiency of 76.6% for one stage anaerobic and 83.05% for two stage anaerobic. While the VFA concentration in the first stage of the two stage anaerobic increased by 33% of the one-stage anaerobic VFA concentration. One-stage anaerobic biogas yield of 0.24 L/g COD_{converted} and 0.27 L/g COD_{converted} for two stage anaerobic.

Keywords: one stage anaerobic bioreaktor, two stage anaerobic bioreaktor, tofu liquid waste, pH.

Pendahuluan

Saat ini industri tahu berkembang pesat diberbagai daerah, dan sebagian besar tidak dilengkapi dengan unit pengolahan limbah. Limbah cair tahu mengandung bahan organik yang tinggi. Limbah yang mengandung bahan organik tinggi, apabila dibuang langsung ke sungai dapat mengakibatkan terganggunya kualitas air dan menurunkan daya dukung lingkungan perairan.

Pengolahan limbah cair yang sesuai untuk mengatasi kandungan bahan organik yang tinggi adalah dengan pengolahan secara anaerobik. Penguraian senyawa organik secara anaerob dapat dibagi menjadi dua, yakni penguraian satu tahap dan dua tahap [11].

Dalam studi ini dilakukan pengolahan limbah cair tahu dengan proses anaerob satu tahap dan dua tahap, yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh dari pengolahan anaerob satu tahap dan

dua tahap terhadap penurunan bahan organik yang ditinjau dari parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), pertumbuhan bakteri yang dipantau dari parameter *Volatile Suspended Solid* (VSS), produksi *Volatile Fatty Acid* (VFA), dan produksi biogas.

Teori

Proses anaerobik adalah proses proses biologi yang memanfaatkan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik dengan kondisi tidak dapat atau sangat sedikit oksigen terlarut [5]. Proses penguraian anaerobik dapat digolongkan menjadi empat tahapan reaksi, yaitu tahap hidrolisis, tahap pembentukan asam (asidogenesis), tahap pembentukan asetat (asetogenesis), dan tahap pembentukan gas metana (metanogenesis). Hidrolisis adalah proses dimana aktivitas kelompok bakteri hidrolitik menguraikan bahan organik kompleks.

Asidogenesis merupakan proses perombakan monomer dan oligomer menjadi asam asetat, CO₂, asam lemak rantai pendek, serta alkohol. Asetogenesis menghasilkan asam asetat, CO₂, dan H₂. Metanogenesis merupakan tahap akhir dari keseluruhan konversi zat organik menjadi CH₄ dan CO₂ [3].

Secara garis besar penguraian senyawa organik secara anaerob dapat dibagi menjadi dua, yakni anaerob satu tahap dan dua tahap. Pada anaerob satu tahap, proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis dilakukan dalam satu reaktor. Hal ini dapat menyebabkan proses hidrolisis kurang efektif karena kondisi operasi pertumbuhan antara mikroorganisme pembentukan asam (hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis) dan pembentukan metana (metanogenesis) berbeda [11]. Sementara anaerob dua tahap, proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis dilakukan dalam suatu reaktor sistem dua tahap. Proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis terjadi pada tahap pertama, sedangkan proses metanogenesis terjadi pada tahap kedua [2].

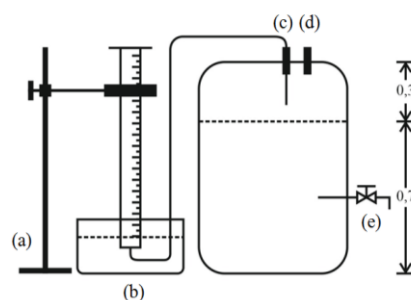
Keuntungan yang diperoleh dari sistem dua tahap ini yaitu, meningkatkan kandungan gas metan, mampu menguraikan senyawa organik dalam jumlah yang lebih besar, lebih stabil, dan lebih cepat [7].

Secara umum berdasarkan aliran bahan baku dalam pengolahan anaerobik dibagi menjadi tiga yaitu *batch* (curah), semi kontinyu, kontinyu. Dalam penelitian ini jenis aliran bahan baku yang digunakan adalah *batch*. Pada sistem *batch*, reaktor diisi dengan bahan baku (air limbah) dengan penambahan biakan mikroba sebanyak sekali saja. Reaktor tersebut harus berada dalam keadaan tertutup dan diberikan waktu retensi dengan periode tertentu, bila telah melewati waktu retensi maka reaktor dibuka, air limbah dibuang, dan diisi kembali dengan bahan baku [12].

Metodologi Penelitian

Persiapan alat dan bahan

Limbah cair tahu diperoleh dari industri tahu di Kecamatan Medan Polonia, sementara kotoran sapi yang digunakan sebagai inokulum diperoleh dari peternakan sapi di daerah Sei Mencirim, Medan Sunggal. Penelitian ini menggunakan bioreaktor anaerob satu tahap dan dua tahap yang masing-masing terbuat dari bahan plastik dengan volume efektif 7 L yang dilengkapi *outlet* pengambilan sampel dan perlengkapan *water displacement*. Desain bioreaktor lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Reaktor

Keterangan gambar:

(a) Statif; (b) *Water Displacement*; (c) *Inlet*; (d) *Inlet Gas Nitrogen*; (e) *Outlet*

Aklimatisasi

Kotoran sapi diencerkan dengan air (1:1) dan disaring untuk menghilangkan partikel-partikel kasar. Cairan yang lolos saringan diaklimatisasi dengan limbah cair tahu dengan perbandingan 1:4 dalam kondisi anaerob secara *batch*. Aklimatisasi dilakukan dalam dua suasana pH, yang pertama suasana pH asam yaitu 5,5 untuk inokulum tahap asidogenesis, dan pH netral yaitu 7 untuk inokulum tahap. Kemudian diinkubasi sampai proses tersebut menghasilkan biogas. Pengkondisian pH dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH [10].

Pengoperasian Bioreaktor

a. Bioreaktor Anaerob Satu Tahap (R1)

Disediakan limbah cair tahu sebanyak 5,6 liter dan kotoran sapi yang telah diaklimatisasi dalam suasana pH netral yaitu 7 sebanyak 1,4 liter, dihomogenkan dan dilakukan pengaturan pH agar tetap netral (pH 7). Dimasukkan campuran limbah cair tahu dengan kotoran sapi ke dalam bioreaktor anaerob, dialirkan gas nitrogen, kemudian tutup rapat bioreaktor. Setiap 3 hari selama 40 hari dilakukan pengamatan pH, laju volumetrik gas dan pengambilan sampel untuk pengukuran COD, VSS, VFA.

b. Bioreaktor Anaerob Dua Tahap (R2)

Disediakan limbah cair tahu sebanyak 5,6 liter dan kotoran sapi yang telah diaklimatisasi dalam suasana asam (pH 5,5) sebanyak 1,4 liter, dihomogenkan dan dilakukan pengaturan pH pada suasana asam (pH 5,5). Dimasukkan campuran limbah cair tahu dengan kotoran sapi ke dalam bioreaktor anaerob, dialirkan gas nitrogen, kemudian tutup rapat bioreaktor. Setelah 48 jam dari tahap pertama (R2-1) lalu kembali ditambahkan inokulum. dan ditambahkan NaOH hingga nilai pH menjadi 7 sebelum akhirnya dimasukkan ke dalam bioreaktor

tahap kedua (R2-2). Dilakukan pengamatan pH, laju volumetrik gas dan pengambilan sampel untuk pengukuran COD, VSS, VFA setiap 12 jam pada tahap pertama dan setiap 3 hari pada tahap kedua.

Pada penelitian ini pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter, analisa COD dilakukan dengan metode titimetri, pertumbuhan bakteri diamati melalui parameter VSS yang diukur dengan metode gravimetri, analisa VFA dilakukan dengan metode destilasi uap, dan pengukuran biogas dilakukan dengan menggunakan metode *Water Displacement* yaitu dengan cara mengamati volume air yang berkurang pada gelas ukur terbalik pada rangkaian *water displacement*.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Limbah Cair

Pada awal penelitian dilakukan analisis limbah cair tahu untuk mengetahui karakteristik limbah cair tahu yang akan diolah. Karakteristik limbah cair industri tahu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Tahu

Parameter	Satuan	Hasil Analisa
COD	mg/l	2489
TSS	mg/l	760
pH	-	3,9

Dari hasil analisa karakteristik awal pada tabel 1 dapat diketahui limbah cair tahu memiliki nilai COD lebih dari 1000 mg/l, maka limbah tersebut dapat diolah dengan proses anaerob. Konsentrasi COD minimum untuk mencapai keberhasilan pengolahan anaerob adalah 1000 mg/l, sementara batas maksimum untuk pengolahan anaerob adalah 30000 mg/l [16].

Karakteristik Kotoran Sapi sebagai Inokulum

Pada penelitian ini inokulum yang digunakan adalah kotoran sapi yang telah diaklimatisasi selama 10 hari, berakhirnya proses aklimatisasi ditandai dengan terbentuknya biogas yang mengindikasikan bakteri sudah dapat beradaptasi.

Tabel 2. Karakteristik Inokulum Kotoran Sapi

Parameter	Satuan	Teraklimatisasi	
		Asam pH 5,5	Netral pH 7
TSS	mg/L	5916,52	5686,52
VSS	mg/L	4437,38	4206,91

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat konsentrasi VSS yang diperoleh setelah aklimatisasi dalam suasana pH asam dan netral berturut-turut adalah 4437,38 mg/l dan 4206,91 mg/l. Konsentrasi VSS yang didapatkan dalam percobaan ini telah memenuhi syarat untuk pengolahan anaerobik yaitu, konsentrasi VSS lebih dari 4000 mg/l atau minimal 2000 – 4000 mg/l [1].

Karakteristik Bahan Campuran

Limbah cair tahu dicampur dengan inokulum sebanyak 20% dari volume kerja yaitu 1,4 L. Adapun hasil uji karakteristik bahan campuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Bahan Campuran

Parameter	Satuan	R1	R2	
			R2-1	R2-2
COD	mg/l	2597,9	2614,5	2055,3
VSS	mg/l	967,41	1013,56	1605,4
pH	mg/l	7	5,5	7

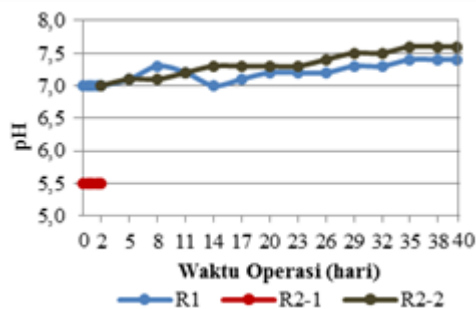
Keterangan:

- R1 : Digester anerob satu tahap
- R2 : Digester anaerob dua tahap
- R2-1 : Digester anaerob dua tahap:tahap pertama
- R2-2 : Digester anaerob dua tahap:tahap kedua

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa pada R1 dan R2 dioperasikan dalam suasana pH yang berbeda. Pada bioreaktor anaerob satu tahap (R1) pH diatur dalam suasana netral. Sedangkan pada bioreaktor anaerobik dua tahap (R2), tahap pertama (R2-1) dimana terjadi proses asidifikasi dioperasikan selama dua hari dalam kondisi asam yaitu pH 5,5, pada tahap kedua (R2-2) dimana terjadi proses metanogenesis pH diatur dalam suasana netral, yaitu pH 7.

Pengamatan Profil pH

Faktor pH sangat berperan pada pengolahan anaerob karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian [13]. Hasil pengamatan pH selama proses pengolahan secara anaerob pada R1, R2-1, R2-2 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil pH pada Bioreaktor Anaerobik Satu Tahap dan Dua Tahap

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa perubahan pH selama proses pengolahan tidak signifikan. Pada R1 nilai pH cenderung mengalami kenaikan, dimana pH berada dalam rentang 7 – 7,4. Pada tahap ini nilai pH relatif meningkat, hal ini mengindikasikan terjadinya degradasi protein yang menghasilkan ammonium yang merupakan buffer alami. Penguraian senyawa organik terdapat pendegradasian protein menjadi ammonia nitrogen (NH₃-N), kemudian bereaksi dengan air membentuk ammonium nitrogen (NH₄-N) [4].

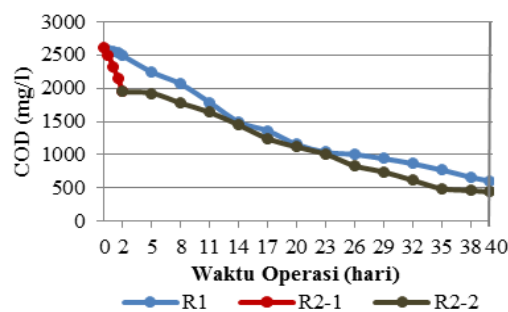
Derajat keasaman (pH) pada R2-1 stabil diangka 5,5. Keadaan pH yang stabil pada R2-1 menunjukkan produksi VFA dan ammonium nitrogen (NH₄-N) berkesinambungan dalam jumlah yang seimbang.

Profil pH pada R2-2 berada dalam rentang 7 – 7,6. Pengamatan pH pada R2-2 berlangsung selama 38 hari yang dimulai setelah t=48 jam pada R2-1. Dari pengamatan pH pada R2-2 diketahui bahwa perubahan pH pada R2-2 sama dengan R1 yaitu cenderung mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan pada proses ini asam-asam organik dipecah, akibatnya pH campuran mengalami kenaikan.

Dalam penelitian ini, profil pH pada R1, R2-1, dan R2-2 menunjukkan bahwa pH pada masing-masing proses masih mendukung proses anaerobik pada R1, R2-1 dan R2-2. Nilai pH optimum untuk tahap pembentukan asam berada dalam kisaran 5,0-6,5 [9]. Sementara pH optimum untuk mikroba metanogenesis berada dalam kisaran 6,4-7,8 [6]. Diluar rentang pH tersebut, penguraian tetap berjalan dengan efisiensi yang berkurang.

Penyisihan Bahan Organik (COD)

COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan yang terdapat pada limbah cair dapat teroksidasi secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme maupun yang sukar didegradasi. Hasil analisa COD pada R1, R2-1 dan R2-2 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konsentrasi COD pada Bioreaktor Anaerobik Satu Tahap dan Dua Tahap

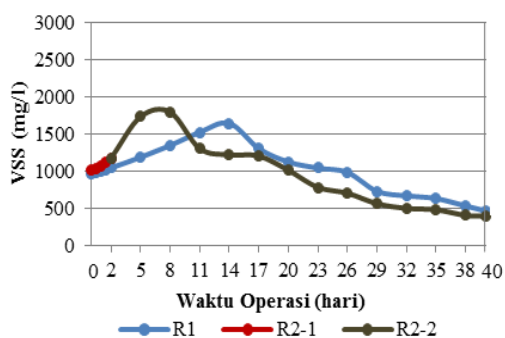
Dari Gambar 3 dapat dilihat konsentrasi awal COD pada R1 yaitu 2598 mg/L, kemudian tereduksi sebesar 76,7% saat akhir pengolahan. Konsentrasi COD mengalami penurunan terbesar pada hari ke-14. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas bakteri didalam pengolahan yang berfungsi mempercepat perombakan bahan organik, dimana secara tidak langsung juga dapat menurunkan nilai COD.

Konsentrasi COD pada R2-1 mengalami penurunan yang signifikan. Pada awal pengolahan konsentrasi COD adalah 2615 mg/L, kemudian selama dua hari waktu operasi konsentrasi COD mengalami penurunan sebesar 25,6%, dengan penurunan terbesar pada t=48 jam. Penurunan konsentrasi COD yang signifikan (P>0.05) pada tahap R2-1 dimana terjadi proses asidifikasi ini menunjukkan proses hidrolisis berlangsung lebih cepat, hal ini disebabkan oleh sesuai kondisi pH yang dibutuhkan bakteri pada tahap ini. Efisiensi penyisihan pada tahap asidogenik menunjukkan penurunan COD yang selalu lebih rendah dari 54% [15].

Proses pada R2-2 merupakan lanjutan dari R2-1. Pada R2-2 proses hidrolisis masih tetap berlangsung meskipun pada tahapan ini didominasi proses pembentukan metan. Pada tahap ini COD dianalisa setelah t=48 jam pada R2-1 hingga hari ke-40. Konsentrasi COD pada akhir pengolahan R2-1 adalah 1945 mg/l kemudian ditambahkan inokulum kotoran sapi pada saat memasuki R2-2, hal ini menyebabkan konsentrasi awal COD pada R2-2 menjadi 2055 mg/l, kemudian pada hari ke-40 COD tereduksi sebesar 83,1%.

Pertumbuhan Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme di dalam bioreaktor diamati sebagai VSS yang merupakan konsentrasi padatan tersuspensi yang menguap pada suhu ± 550°C. Pertumbuhan mikroorganisme pada R1, R2-1 dan R2-2 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Konsentrasi VSS pada Bioreaktor Anaerobik Satu Tahap dan Dua Tahap

Konsentrasi VSS pada awal pengolahan pada R1 sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 4 adalah 967 mg/l. Pada hari ke-0 sampai hari ke-2 masih memiliki pertumbuhan yang lambat (fase lag). Hal ini dapat disebabkan oleh tidak optimanya suasana pH yang dibutuhkan oleh bakteri fermentatif. Akan tetapi pada hari ke-5 sudah mulai terjadi peningkatan pertumbuhan hingga mencapai pertumbuhan optimum (fase eksponensial) pada hari ke-14 dengan kadar VSS yaitu 1644 mg/l. selanjutnya kadar VSS cenderung menurun hingga akhir pengolahan mencapai 468 mg/l. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin berkurang jumlah nutrisi, maka semakin menurun pula populasi bakteri.

Konsentrasi VSS pada R2-1 mengalami kenaikan dan belum mengalami penurunan. Konsentrasi awal VSS yaitu sebesar 1014 mg/l, kemudian meningkat hingga t=48 jam dengan konsentrasi VSS 1176 mg/l. Bakteri yang tumbuh pada proses asidifikasi yang terjadi pada R2-1 adalah kelompok bakteri hidrolitik dan asidogenik dimana pertumbuhan bakteri pada tahap ini berlangsung lebih cepat dibandingkan bakteri metanogenik. Derajat keasaman (pH) pada R2-1 mendukung laju pertumbuhan mikroba asidogenik. Nilai pH optimum untuk tahap asidifikasi pada proses anaerobik berkisar 5,0-6,5 [9].

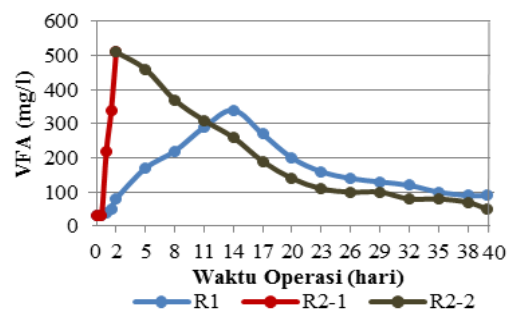
Pada R2-2 kembali ditambahkan kotoran sapi yang telah diaklimatisasi dalam suasana netral (pH 7) sebanyak 1,4 ml. Konsentrasi awal VSS pada R2-2 adalah 1605 mg/l, kemudian pada pengamatan hari ke-5 VSS kadar menjadi 1732 mg/l dan terus meningkat mencapai pertumbuhan optimum (fase eksponensial) yaitu 1794 mg/L pada hari ke-8 dan mengalami penurunan pada hari ke-11 hingga konsentrasi VSS 394 mg/l pada hari ke-40. Penurunan konsentrasi populasi mikroba diakibatkan jumlah kebutuhan nutrisinya berkurang.

Di dalam reaktor anaerob terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yakni bakteri

asidogenik dan bakteri metanogenik. Kedua jenis bakteri ini perlu seimbang. Bakteri-bakteri ini memanfaatkan bahan organik dan memproduksi metan dan gas lainnya dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob.

Produksi VFA

VFA merupakan asam organik berantai pendek (asam format, asam asetat, asam propionat, asam butirat dan asam pentanoat) hasil dari proses asidifikasi. Terbentuknya VFA menjadi salah satu tanda bahwa proses asidogenesis berjalan dengan baik. Metode yang digunakan untuk analisa VFA adalah metode destilasi uap (*steam destillation*). Konsentrasi VFA hasil penelitian ini ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Konsentrasi VFA pada Bioreaktor Anaerobik Satu Tahap dan Dua Tahap

Dari Gambar 5 dapat dilihat konsentrasi VFA pada awal proses pengolahan menggunakan bioreaktor anaerob satu tahap adalah 30 mg/l. Konsentrasi VFA paling tinggi dihasilkan pada hari ke-14, yaitu 340 mg/l. Hal ini mengindikasikan bahwa hingga hari ke-14 tahap ini didominasi oleh proses asidifikasi. Kemudian cenderung menurun hingga hari ke-40 konsentrasi VSS menjadi 90 mg/l. Hal ini disebabkan oleh VFA yang dihasilkan mulai dikonversi menjadi CH_4 dan CO_2 .

Konsentrasi awal VFA pada R2-1 sama dengan konsentrasi VFA pada R1 yaitu 30 mg/L. Nilai VFA mengalami kenaikan mulai dari t=12 jam. Konsentrasi vss pada t=36 jam adalah 220 mg/l dan kadar tertinggi dihasilkan pada t=48 jam yaitu 510 mg/l. Kadar VFA pada R2-1 meningkat sebesar 33% dari pengolahan anaerob satu tahap.

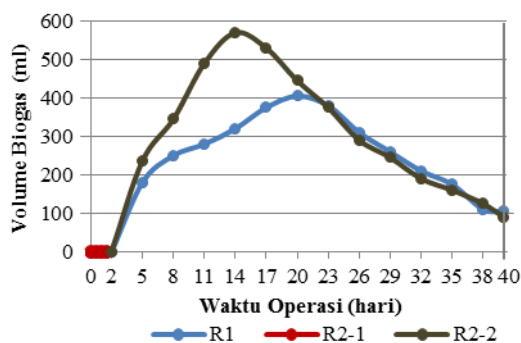
Konsentrasi VFA pada R2-2 mulai diamati pada setelah 48 jam pada R2-1. Nilai VFA pada keluaran R2-1 yaitu 510 mg/L, yang kemudian akan diuraikan oleh bakteri pembentuk metana menjadi gas metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Hal tersebut menyebabkan konsentrasi VFA pada R2-2

cenderung menurun hingga hari ke-40 dimana konsentrasai VFA sebanyak 50 mg/l.

Dalam penelitian ini, produksi VFA yang dihasilkan pada R1 dan R2-1 masih mendukung proses pengolahan anaerob. Konsentrasi VFA > 2.000 mg/l menurunkan kinerja pada saat proses hidrolisis dan peruraian anaerobik dan menyebabkan kematian pada mikroorganisme sehingga produksi biogas berkurang [14].

Produksi Biogas

Proses terakhir dari proses anaerobik adalah proses metanogenesis. Metanogenesis merupakan langkah penting dalam proses pengolahan anaerobik secara keseluruhan, karena proses ini adalah yang paling lambat pada proses reaksi biokimia, mengubah asam-asam volatil menjadi gas CH₄, CO₂, dan lain sebagainya [8]. Produksi harian biogas pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Produksi Biogas pada Bioreaktor Anaerobik Satu Tahap dan Dua Tahap.

Sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 6 dimulai setelah hari ke-2. Volume harian biogas tertinggi pada hari ke-20 yaitu 405 ml dan pada hari ke-40 volume biogas sebesar 105 ml. Volume kumulatif biogas selama 40 hari pada R1 adalah 3360 ml.

Pada R2-1 tidak terdapat biogas yang dihasilkan selama 2 hari. Hal ini menunjukkan pada tahap ini hanya berlangsung pembentukan asam dan tahap metanogenesis belum berlangsung.

Setelah 2 hari berlangsung proses asidifikasi maka dilanjutkan dengan proses metanogenesis pada R2-2, dimana menghasilkan biogas. Volume biogas tertinggi pada hari ke-14, yaitu 570 ml, dan pada hari ke-40 volume biogas sebesar 90 ml. Volume kumulatif biogas selama 40 hari pada R2-2 adalah 4091 ml. Adapun penurunan volume biogas yang terjadi pada bioreaktor disebabkan oleh kandungan bahan organik tinggal sedikit yang ditandai dengan nilai COD yang rendah.

Dari volume kumulatif biogas dapat diketahui *yield* biogas, yaitu dengan membagi volume kumulatif biogas dengan konsentrasi COD yang terkonversi, maka didapatkan hasil *yield* biogas pada R1 dan R2 masing-masing yaitu 0,24 L/g COD_{terkonversi} dan 0,27 L/g COD_{terkonversi}.

Kesimpulan

Adanya pengaruh pengolahan anaerob satu tahap dan dua tahap terhadap kinerja bioreaktor dalam pengolahan limbah cair tahu yang dilihat dari efisiensi penyisihan COD, laju pertumbuhan bakteri (VSS), produksi VFA, dan produksi biogas. Efisiensi penyisihan COD pada bioreaktor anaerob satu tahap adalah 76,7% dan meningkat 6,8 % pada bioreaktor anaerob dua tahap. Laju pertumbuhan mikroorganisme pada bioreaktor dua tahap lebih cepat yaitu mencapai pertumbuhan optimum pada hari ke-8 dan pada bioreaktor dua tahap bakteri mencapai pertumbuhan optimum pada hari ke-14. Produksi VFA pada pengolahan anaerob dua tahap meningkat signifikan sebesar 33% dari pengolahan anaerob satu tahap. *Yield* biogas meningkat dari 0,24 L/g COD_{terkonversi} bioreaktor anaerob satu tahap menjadi 0,27 L/g COD_{terkonversi} bioreaktor anaerob dua tahap.

Daftar Pustaka

- [1] A. Syahrin, A. Andrio, N. Veronika, Proses Seeding Aklimatisasi untuk Pengolahan Anaerob Limbah Cair Produksi Minyak Sawit, Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Riau, 3, (2016) 1-5.
- [2] B. Demirel and O. Yenigun, Two-phase anaerobic digestion process: a review. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 77, (2002) 743-755.
- [3] H. J. Gijzen, Anaerobic Digestion of Cellulostic Waste by Rumen-Derived Process, Den Haag: Koninklijke Bibliotheek, 1987, p.12-16.
- [4] I. Syaichurrozi dan Rusdi, Pencernaan Campuran Limbah Vinasse dan Limbah Cair Tahu untuk Meningkatkan Produksi Biogas. Jurnal Teknik Kimia. Universitas Sultan Agung Tirtayasa, Cilegon. 12, (2015) 23-28.
- [5] Indriyati, Pengolahan Limbah Cir Organik secara Biologi Menggunakan Reaktor Anaerobik Lekat Diam, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan BPPT, 1, (2005) 330-340.
- [6] M. Madyanova, Pengolahan Senyawa organik Limbah Cair Domestik Dengan Menggunakan Anaerobic Baffled Reactor

- (ABR), Teknik Lingkungan Insitute Teknologi Bandung, 2005, p.45-46.
- [7] M. A. Kholiq. Perbandingan Sistem Digester Anaerob Termofilik Satu dan Dua Fase. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 8, (2007) 43-47.
- [8] M. L. Shuler, F. Kargi, *Bioprocess Engineering*, Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002, p.174-175.
- [9] Malina and Pohland, *Desaign of Anaerobic Proseses for The Treatment of Industrial and Municipal Wastes*, Technomic Publishing Co, Lancaster, Pennsylvania, 1992, p.79.
- [10] P. Iriani, Y. Suprianti, F. Yulistiani, Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi, *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1, (2017) 1-10.
- [11] S. Moertinah, *Kajian Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi*, *Jurnal Riset TPPI*, 1, (2010) 104 –114.
- [12] S. E. Nayono, *Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production*, KIT Scientific Publishing Karlsruhe, 2009, p.21.
- [13] S. Simamora, Salundik, S. Wahyuni, Surajudin, *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak dan Gas dari Feses*, Agromedia Pustaka, Jakarta, 2006, p.45.
- [14] U. Wiesmann, Choi, I. S. Choi, E. M. Dombrowski, *Fundamental Biological Wastewater Treatment*, Wiley-VchVerlag Gmbh and Co. Kga, Berlin, 2007, p.93-94.
- [15] V. Blonskaja, *Use of Two Stage Anaerobic Treatment for Distillery Waste*, *Journal Elsevier Science*, 7, (2002) 671-678.
- [16] W. W. Eckenfelder, J. Patocka, A. T. Watkin, *Wastewater Treatment*, *Chemical Engineering*, 1995, p.142.