

# BIODEGRADASI GLUKOSA KONSENTRASI TINGGI DALAM SEQUENCING BATCH REACTOR PADA TAHAP ASIDOGENESA

## BIODEGRADATION OF HIGH CONCENTRATED GLUCOSE IN SEQUENCING BATCH REACTOR DURING ACIDOGENIC PHASE

Mindriany Syafila<sup>1)</sup>, Tjandra Setiadi<sup>2)</sup>, Pingkan Aditiawati<sup>3)</sup> dan Wiharyanto Oktawan<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Lingkungan – ITB

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Kimia – ITB

<sup>3)</sup>Jurusan Biologi - ITB

### Abstrak

Pada penelitian ini, *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dioperasikan secara anaerob yang memisahkan fasa asidogenesis dengan metanogenesis dalam biodegradasi glukosa konsentrasi tinggi. Hasil pengoperasian SBR anaerob fasa asidogenesis pada umpan 30.000 mg/l dan 60.000 mg/l COD menunjukkan bahwa rasio *fill/react* optimum untuk beban 30.000 mg/l adalah 2:4 jam/jam dengan efisiensi sekitar 49,2% dan untuk konsentrasi 60.000 mg/l rasio *fill/react* optimumnya 2:8 jam/jam dengan efisiensi 58,29%. Total asam volatil (TAV) tertinggi yang dihasilkan untuk beban 30.000 mg/l adalah 5.232 mg/l pada rasio *f/r* 2:8 dan pada beban 60.000 mg/l COD sekitar 4.475 mg/l juga pada rasio 2:8. Biomassa relatif tetap masih di atas 2000 mg VSS/l, sedangkan gas metan relatif belum terbentuk.

Kata kunci : asidogenesis, biodegradasi, glukosa, SBR

### Abstract

In this project, Sequencing batch reactor (SBR) was operated under anaerobic condition during acidogenic phase for high glucose concentration biodegradation. The results show that for COD concentration of 30.000 mg/l the ratio of fill detention time and react time as 2 : 4 (hour/hour) gave the optimum COD removal of 49,2% and for 60.000 mg/l COD the optimum ratio was 2 : 8 (hour/hour) which gave 58,29% COD removal. From the total volatile and production point of view, the optimum condition for both concentrations was 2 : 8 (hour/hour). Biomass concentration was still above 2.000 mg VSS/l, whereas methane was relatively not be able to be detected.

Keywords : acidogenic, biodegradation, glucose, SBR

### 1. PENDAHULUAN

Air buangan yang mengandung bahan organik tinggi (COD > 4000 mg/l) berpotensi mencemari lingkungan. Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengatasi masalah ini, diantaranya dengan mengembangkan suatu pengolahan air buangan secara biologi yang lebih murah dan mudah pengoperasiannya serta efektif menyisihkan karbon organik dan nutrien air buangan.

Malina dan Pohland (1992) menyatakan bahwa pengolahan anaerob cocok untuk air buangan dengan COD biodegradabel dari rentang menengah ( $\pm 2.000$  mg/l) sampai dengan tinggi (> 20.000 mg/l). Adapun keuntungan proses anaerob dibandingkan proses aerob antara lain adalah dihasilkan-

nya gas metan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Pengolahan air buangan yang mengandung bahan organik tinggi menggunakan reaktor biologi membutuhkan waktu detensi yang cukup panjang, misalnya pada pengolahan air buangan industri minyak sawit dengan bioreaktor anaerob secara kontinu membutuhkan waktu detensi selama 6 hari (Syafilla dkk, 1996).

Dengan demikian sistem pengolahan air buangan secara biologi anaerob dengan pengaliran secara kontinu ini akan memerlukan lahan yang cukup luas, sehingga kebanyakan industri enggan mengolah air buangannya. Untuk mengatasi masalah ini perlu dikembangkan suatu sistem pengolahan baru yang

dapat menurunkan waktu detensi dan mudah pengoperasiannya, tetapi dengan kualitas penyisihan polutan minimal sama dengan sistem kontinu. Salah satu sistem tersebut adalah *sequencing batch reactor* (SBR).

*Sequencing Batch Reactor* (SBR) adalah sistem pengolahan lumpur aktif isi/*fill* dan tuang/*draw* (Metcalf dan Eddy, 1991). Proses lumpur aktif SBR mirip dengan proses dalam sistem konvensional dimana air buangan diaduk dengan flokulan biomassa pada proses pengolahan. Adapun yang membedakan bahwa SBR merupakan reaktor siklik yang dirancang berdasarkan beberapa tahapan proses yang berlangsung dalam satu reaktor.

Siklus proses yang terjadi dalam SBR terdiri dari lima tahap yaitu tahap pengisian (*fill*), reaksi (*react*), pengendapan (*settle*), pengeluaran/penuangan (*draw/decant*) dan *idle*.

Pada tahap pengisian/*fill* reaktor diisi dengan influen yang akan diolah (air buangan). Pada pengisian ini volume meningkat dari 25% (pada akhir *idle*) menjadi 100%. Waktu yang dibutuhkan sekitar 25% dari *cycle time*. Reaksi/*react* merupakan proses pengolahan secara batch. Pada kedua fase awal ini, proses pengolahan sudah dimulai dimana pada kedua fase ini telah terjadi aktivitas biomassa dan dilakukan pengadukan/*mixing*. Sedangkan pada tahap pengendapan/*settle* lumpur biomassa diendapkan dari cairan yang diolah. Beberapa penelitian melaporkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk pengendapan berkisar antara 10-60 menit.

Pada tahap pengeluaran/penuangan/*draw/decant* merupakan proses mengeluarkan efluen (supernatan air buangan yang telah diolah). Waktu yang dibutuhkan sekitar 5-30% dari *cycle time*. Waktu untuk pengendapan dan pengeluaran berlangsung kurang dari 3 jam. Sedangkan tahap terakhir yaitu tahap *idle* merupakan tahapan diam menunggu pengisian kembali. Biasa digunakan untuk multi SBR, sedangkan untuk 1 reaktor, proses ini sering dihilangkan. Meskipun demikian, *idle* kadang diperlukan untuk menstabilkan lumpur biomassa sebagaimana yang terjadi dalam proses kontak stabilisasi.

Karena mode operasi SBR adalah diskontinu, maka equalisasi aliran, pengolahan dan pengendapan dapat dicapai dalam satu reaktor sehingga mengeliminasi kebutuhan clarifier (Nocross, 1992). Di-

samping itu, SBR mempunyai keuntungan dalam segi fleksibilitas dalam pengoperasian, dimana siklus operasi dapat diatur untuk menghasilkan kualitas efluen yang dikehendaki. Meskipun SBR secara sempurna digunakan untuk debit air buangan kecil (<10 MGD), tetapi dalam aplikasi lebih lanjut pada debit besar juga menunjukkan hasil yang cukup memuaskan (Irvine dkk, 1985). Selain itu, dua atau lebih tangki SBR dapat dioperasikan secara paralel.

**Tabel 1.** Kriteria Desain SBR

Parameter	Satuan	Besaran
Rasio F/M	kg BOD / kg MLVSS hari	0,05-0,30
Beban volumetrik	kg/m <sup>3</sup> .hari	0,08-0,24
MLSS	mg/l	1.500-5.000
Rasio resirkulasi	-	Tidak applicable

Sumber : Metcalf & Eddy, 1991

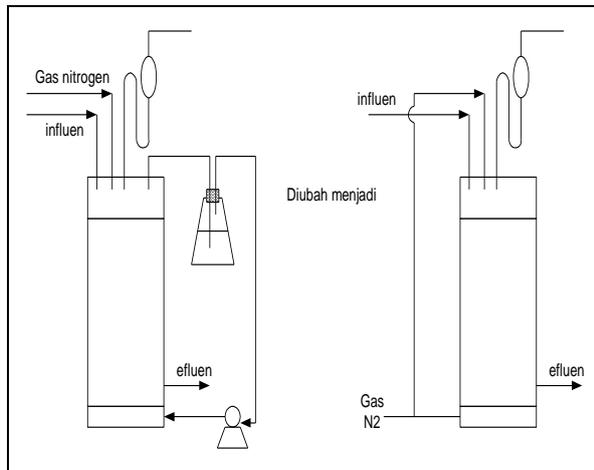
Mula-mula SBR diteliti dan diaplikasikan dalam pengolahan untuk menyisihkan zat organik pada air buangan, seperti yang digunakan di Australia, Jepang, Denmark, Inggris dan Kanada (Irvine, 1985; Melcer, 1987) dengan tingkat efisiensi penyisihan BOD sekitar 95,7-99,4%. Kemudian SBR dikembangkan untuk berbagai pengolahan air buangan yang lain, seperti penyisihan nitrogen, fosfor, fenol, dan sianida (Yoong, 1999). Meskipun penelitian proses SBR pada awalnya dilakukan pada sistem lumpur aktif, namun konsep dasar operasi SBR dapat ditransfer pada konfigurasi proses lain seperti sistem *fluidized bed*.

Penelitian ini akan berusaha untuk mengolah air buangan tipikal yang mengandung bahan organik tinggi menggunakan SBR anaerob yang memisahkan fase asidogenesis dan metanogenesis. Adapun obyek utama dari penelitian ini adalah pada optimasi performance rasio *fill/react*, penyisihan COD, pembentukan asam volatil dan gas, serta kinetika reaktor SBR anaerob pada tahap asidogenesis.

### 3. METODOLOGI

Percobaan ini menggunakan bioreaktor anaerob *Circulating Bed Reactor* (CBR) yang telah dimodifikasi dimana pengadukan dilakukan dengan mem-bubble cairan dengan gas nitrogen, tidak dengan meresirkulasikan udara dalam reaktor. Pada tahap asidogenesis ini, eksperimen terdiri dari dua reaktor 4 liter (dengan volume operasi 3 liter) yang dioperasikan secara paralel. Pada akhir siklus pengoperasian, sekitar 2,25 liter supernatan dituang dan tinggal 0,75 liter (25% volume operasi) ditinggal

untuk dipakai kembali (*recycle*). Hal ini secara detail dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



**Gambar 1.** Pemoifkasian *Circulating Bed Reactor*

*Seeding*/pembenihan bertujuan untuk menumbuhkan dan mengembangbiakkan mikroorganisme di dalam substrat yang akan diolah. Benih biomassa untuk bioreaktor anaerob diambil dari reaktor anaerob yang sudah beroperasi dengan baik (bioreaktor pengolah *leachate*). Pembibitan dilakukan dalam tangki anaerob secara batch. Larutan umpan merupakan limbah artifisial yang terbuat dari glukosa dan nutrisi lain. Komposisi nutrisi dan *trace mineral* yang diberikan memenuhi perbandingan COD:N:P = 400:7:1 (Malina dan Pohland, 1992). Dan untuk mengusir  $O_2$  agar kondisi reaktor bebas oksigen (kondisi anoksik) maka reaktor *dibubble* dengan gas  $N_2$ .

Setelah jumlah biomassa cukup tinggi (VSS > 5.000 mg/l) dilakukan aklimatisasi dengan mengoperasikan reaktor dalam mode sequencing batch sampai tercapai kondisi tunak (stabil). Aklimatisasi juga dilakukan pada setiap perubahan beban. Setelah aklimatisasi selesai dengan tercapainya kondisi tunak, percobaan utama untuk pengambilan data (sampling) dapat segera dilakukan.

Pada tahap asidogenesis ini, eksperimen terdiri dari dua reaktor 4 liter (dengan volume operasi 3 liter) yang dioperasikan secara paralel. Keseluruhan siklus pengoperasian dipecah dalam 5 fase yaitu fase pengisian/*fill*, reaksi/*react*, pengendapan/*settle*, penuangan/*decant*, dan *idle*. Pengisian dilakukan selama 2 jam dengan debit konstan sampai volume operasi 3 liter. Kemudian dilanjutkan dengan periode reaksi, yang lamanya operasi divariasikan de-

ngan rasio *fill/react* 2:2, 2:4, dan 2:8 (jam/jam). Pada kedua fase ini, proses pengolahan sudah dimulai dimana pada kedua fase ini telah terjadi aktivitas biomassa dan dilakukan pengadukan (*mixing*). Fase selanjutnya adalah pengendapan yang ditetapkan selama 30 menit. Pada akhir fase pengendapan, sekitar 2,25 liter supernatan dituang (fase *decant*) dan tinggal 0,75 liter (25% volume operasi) ditinggal (fase *idle*) untuk dipakai kembali (*direct cycle*).

Pada keseluruhan percobaan, karakteristik influen dan efluen pada saat pengisian 1 jam, akhir pengisian dan akhir dari fase reaksi diukur secara duplo dan triplo. Sampel disentrifuge pada 5.000 rpm selama 10 menit, kemudian dianalisis konsentrasi COD, VSS, dan TAV menggunakan metode standar. COD yang diukur merupakan COD terlarut, dengan menggunakan metode COD kromat dari *Standard Methods 5220 C*. Pada prinsipnya senyawa organik dioksidasi dengan larutan kromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,25 N berlebih dalam suasana asam, dengan pemanasan selama 2 jam. Kalium dikromat yang tersisa kemudian dititrasi dengan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) dengan menggunakan indikator ferroin.

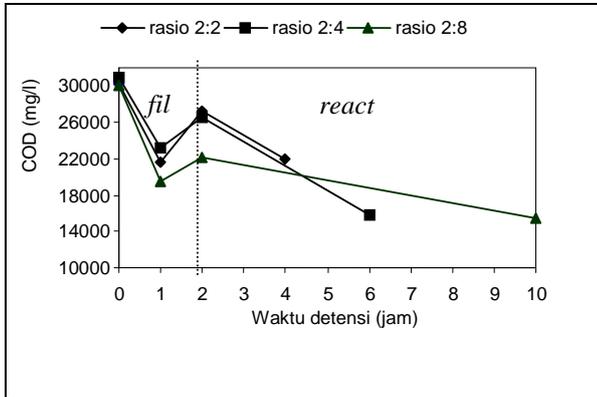
Asam-asam volatil total (TAV) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja dari bioreaktor. Asam-asam volatil ini antara lain terdiri dari format, asetat, propionat, dan butirrat, yang keseluruhannya terukur sebagai mg/l asam asetat. Metoda pengukurannya sesuai dengan *Standard Methods 556°C*, yaitu dengan cara destilasi dan titrasi.

Sedangkan VSS yang menunjukkan jumlah padatan organik biomassa diukur menggunakan metoda gravimetri yang sesuai dengan *Standard Methods 254°E*. pH dan temperatur juga dimonitor selama peelitian menggunakan pH meter. Komposisi gas yang terbentuk dianalisa menggunakan metoda Gas Kromatografi (alat yang digunakan adalah Shimadzu GC 8A, jenis reaktor: TCD (*Thermal Conductivity Detector*), dengan kolom Mulsive 5A dan Parapak Q).

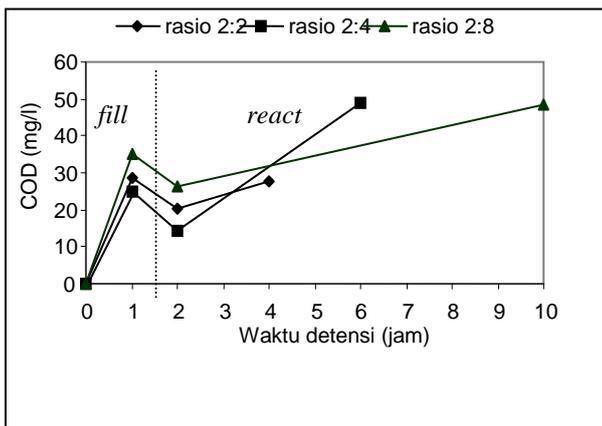
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui pengaruh pembebanan dan rasio waktu *fill : react* (*f/r*) terhadap efisiensi penyisihan organik dilakukan penelitian pada beban organik tinggi yang 30.000 mg/l dan 60.000 mg/l COD dengan menggunakan rasio *f/r* 2:2 jam/jam, 2:4

jam/jam dan 2:8 jam/jam. Adapun hasil yang diperoleh dari pengukuran COD pada beban 30.000 mg/l yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3 sebagai berikut.



Gambar 2. Penurunan COD Pada Konsentrasi 30.000 mg/l

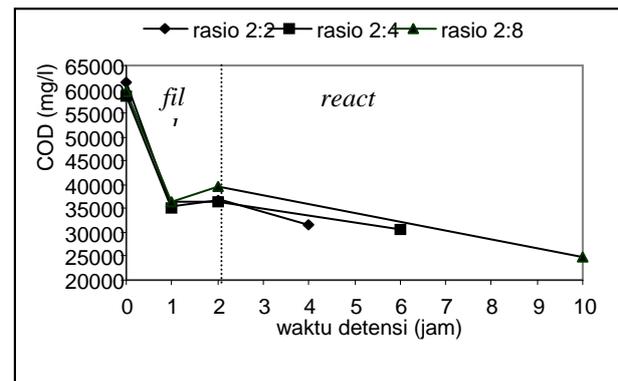


Gambar 3. Efisiensi Penyisihan COD Pada Konsentrasi 30.000 mg/l

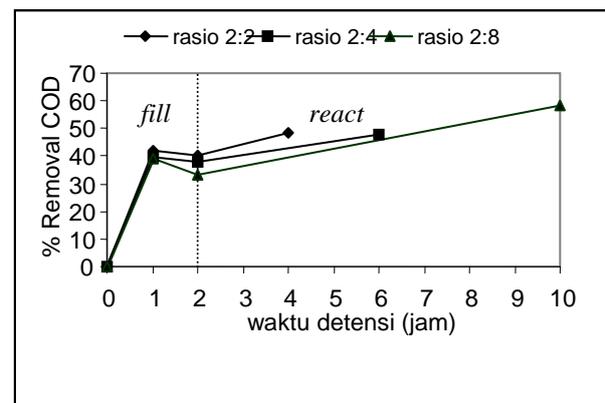
Hasil analisa COD ini menunjukkan bahwa influen rata-rata berkisar 30.020 mg/l. Pada keseluruhan percobaan pada konsentrasi ini, COD yang terukur pada periode pengisian mengalami penurunan yang signifikan menjadi sekitar 20.000 mg/l kemudian pada akhir pengisian naik menjadi sekitar 25.000 mg/l. Setelah itu, pada akhir periode reaksi (*react*) COD-nya turun lagi. Dari hasil analisa pada periode reaksi ini diperoleh penyisihan optimum untuk beban umpan 30.000 mg/l COD pada rasio f/r 2:4 jam/jam dengan efisiensi penyisihan sekitar 49,12% terhadap influen.

Hasil analisa statistik terhadap persen penyisihan COD pada berbagai rasio f/r menyatakan bahwa rata-rata efisiensi penyisihan berasal dari populasi

yang sama (dalam range tingkat kepercayaan 95%), sedangkan hasil tes probabilitas homogenitasnya lebih kecil dari 0,05 (0,014) yang berarti ketiga varian rasio f/r tidak identik. Hasil anova didapatkan harga  $F=27,629$  dan probabilitas 0,000 yang berarti rata-rata efisiensi ketiga rasio f/r ini memang berbeda nyata. Perbedaan nyata terjadi pada rasio f/r 2:2 dengan rasio f/r 2:4 dan 2:8 dengan probabilitas  $0,000 < 0,05$ , sedangkan rasio f/r 2:4 dan 2:8 tidak berbeda nyata (probabilitasnya  $0,994$  dan  $1,000 > 0,05$ ). Hasil korelasi menunjukkan bahwa ada korelasi yang kuat antara efisiensi dengan rasio f/r dengan arah positif (koefisien korelasi Pearson  $0,693$  dan Kendall's atau  $b$   $0,569$  lebih besar dari  $0,5$ ) yang berarti makin besar rasio f/r dimungkinkan semakin besar efisiensi penyisihan COD-nya. Hasil pengukuran COD pada beban umpan 60.000 mg/l ditunjukkan Gambar 4 dan 5 sebagai berikut.



Gambar 4. Penurunan COD Konsentrasi 60.000 mg/l



Gambar 5. Efisiensi Penyisihan COD Konsentrasi 60.000 mg/l

Hasil yang diperoleh pada konsentrasi 60.000 mg/l COD ini menunjukkan fenomena yang serupa de-

ngan konsentrasi 30.000 mg/l COD, tetapi efisiensi optimum terjadi pada rasio f/r 2:8 yaitu sekitar 59,21%. Hasil analisa statistik menunjukkan rata-rata efisiensi masing-masing rasio berasal dari populasi yang sama tetapi ketiga efisiensi rasio tersebut identik (probabilitasnya  $0,417 > 0,05$ ). Meskipun rata-rata efisiensi pada ketiga rasio f/r berbeda (terbesar pada rasio f/r 2:8) namun hasil anova didapatkan adalah  $F=4,065$  dan probabilitas  $0,055 > 0,05$  sehingga rata-rata efisiensi ketiga rasio tersebut identik. Sedangkan dari hasil korelasi diperoleh koefisien korelasi Pearson 0,693 dan koefisien Kendall's tau b 0,569 (lebih besar dari 0,5) yang berarti korelasi antara efisiensi penyisihan dan rasio cukup kuat ke arah positif.

Hasil pengamatan COD yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan fenomena yang menarik yaitu pada awal pengisian terjadi penurunan COD yang cukup besar. Hal ini kemungkinan terjadi karena adanya berbagai proses dalam reaktor yaitu proses pengenceran, absorpsi dan penguraian oleh mikroorganisme. Proses pengenceran terjadi antara influen yang diumpankan dengan cairan yang sudah ada dalam reaktor. Dengan adanya pencampuran ini maka COD yang ada dalam reaktor relatif kecil dibanding dengan influennya.

Selain itu terdapat juga fenomena yang menarik, yaitu aktifitas oleh bakteri yang menguraikan organik yang ada sekaligus mengabsorb. Fenomena penguraian organik merupakan fenomena yang umum dimana bakteri memanfaatkan organik yang ada sebagai sumber makanan, sedangkan absorpsi oleh bakteri dilakukan bakteri untuk cadangan makanan mereka. Hal ini dimungkinkan karena sejak akhir pengisian tidak ada sumber makanan yang masuk sehingga pada akhir batch terjadi tahap kelaparan/kekurangan substrat (Nocross, 1992) dan hal ini berlanjut sampai tahap penuangan dan idle. Fenomen ini mirip dengan yang terjadi pada proses kontak stabilisasi yaitu dimana biomassa yang terkandung dalam lumpur diaktifkan dan distabilkan dalam tangki stabilisasi. Dengan adanya pengalaman seperti ini, maka pada periode pengisian selanjutnya bakteri akan mengabsorb organik untuk cadangan makanan. Cadangan ini kemudian dilepaskan lagi pada akhir batch. Hal ini terlihat dari hasil pengukuran COD pada akhir pengisian jauh lebih besar daripada COD pada pertengahan pengisian.

Pada proses reaksi, penguraian organik sesuai dengan perkiraan dan literatur dimana semakin lama

waktu pengoperasian semakin kecil COD-nya. Pada penelitian ini penurunan COD tidak terlalu besar karena masih dalam tahap asidogenesis dimana organik substrat belum terurai menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$ , tetapi sebagian besar organik diubah menjadi asam-asam volatil.

Analisa VSS dilakukan untuk mengetahui konsentrasi biomassa yang merupakan bahan organik yang menguap pada temperatur tinggi ( $600^\circ\text{C}$ ). Dengan diketahui VSS ini maka dapat diketahui pengaruh beban influen dan rasio detensi *fill:react* terhadap pertumbuhan biomassa dan pengaruhnya terhadap penurunan organik.

Pengamatan terhadap VSS menunjukkan bahwa nilai VSS cenderung mengalami kenaikan selama periode reaksi seiring dengan penurunan pH sampai jangka waktu tertentu sebelum mencapai kesetimbangan. Tetapi kadang-kadang terjadi penyimpangan terhadap kecenderungan tersebut, yang mungkin terjadi karena lisis sel. VSS yang dihasilkan juga relatif kecil sesuai literatur dimana dalam pengolahan anaerob dihasilkan lumpur dalam jumlah yang relatif kecil. Selain itu, semakin sering suatu reaktor dioperasikan jumlah VSS-nya semakin kecil karena ada biomassa yang turut terbuang bersama efluen (tidak semua biomassa terendapkan pada periode *settling*). Karena itu beberapa literatur menyarankan adanya penambahan inokulum biomassa setiap awal pengoperasian.

Dalam pengolahan organik secara biologis anaerob tahap asidogenesis menghasilkan produk utama asam volatil, dan sebagian kecil biogas berupa  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$ , sedangkan produk utama pengolahan yaitu  $\text{CH}_4$  belum terbentuk. Untuk membuktikan fenomena ini, maka pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap asam volatil (sebagai TAV) dan gas. Hasil pengamatan ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.** Hasil Analisa TAV

Beban Organik	TAV akhir rasio f/r (mg/l)		
	2 : 2	2 : 4	2 : 8
30000	4047,00	4336,20	5232,59
60000	3775,04	3687,59	4474,66

Analisa TAV menunjukkan bahwa pada konsentrasi umpan 30.000 dan 60.000 mg/l COD, asam volatil yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan semakin lama waktu reaksi, yang membuktikan adanya proses pembentukan asam.

Peningkatan TAV sesuai dengan literatur bahwa pada tahap asidogenesis terjadi pembentukan asam volatil. Pembentukan asam-asam ini menyebabkan terjadinya pH, yang terlihat dari hasil pengukuran pH dari waktu ke waktu cenderung turun (penyimpangan kadang terjadi yang disebabkan oleh pengaruh buffer). Sedangkan pada beban umpan 60.000 mg/l, kecenderungan kandungan asam volatil naik kemudian turun. Hal ini disebabkan mungkin karena pada pembebanan yang relatif tinggi ini biomassa asidogenesis yang ada belum stabil dalam jangka waktu pengoperasian tersebut. Berdasarkan pengamatan terhadap perubahan beban yang diberikan menunjukkan bahwa TAV yang terbentuk tidak mengalami perubahan yang signifikan. Meskipun demikian ada kecenderungan bahwa asam volatil yang terbentuk mengalami peningkatan sampai beban tertentu kemudian turun. Hasil analisa gas menunjukkan bahwa gas metan relatif tidak terbentuk. Hal ini membuktikan bahwa proses yang terjadi dalam reaktor anaerob baru mencapai tahap asidogenesis. Disamping itu semakin besar beban influen, biogas yang terbentuk semakin kecil. Hal ini disebabkan karena pada pengoperasian beban yang lebih tinggi bakteri lebih dominan mendegradasi substrat menjadi asam volatil. Pembentukan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> dapat terjadi dalam proses penguraian asam-asam volatil menjadi asam yang lebih sederhana (sebelum diuraikan lagi pada tahap metanogenesis). Kandungan oksigen sangat kecil, karena pada proses anaerob tidak diharapkan keberadaan oksigen. Pengadukan dalam reaktor dilakukan dengan gas nitrogen dan hal ini yang menyebabkan kandungan nitrogen dalam reaktor relatif besar.

#### 4. KESIMPULAN

Rasio waktu *fill/react* merupakan variabel proses yang mempengaruhi efisiensi penyisihan dimana untuk beban pengolahan tertentu memiliki rasio *fill/react* optimum yang berbeda-beda. Untuk beban 30.000 mg/l COD optimum pada rasio *fill/react* 2:4 (jam/jam) dan untuk beban 60.000 mg/l optimum pada rasio *fill/react* 2:8 (jam/jam). Proses yang terjadi pada eksperimen ini masih pada tahap asidogenesis sehingga tingkat penurunan COD tidak terlalu besar hanya sekitar 40-50% dimana or-

ganik substrat belum terurai menjadi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Sebagian besar organik diubah menjadi asam-asam volatil (3.500-5.000 mg/l TAV) dan relatif belum terjadi pembentukan gas CH<sub>4</sub>. Dengan demikian masih perlu proses lebih lanjut agar diperoleh effluen yang memenuhi baku mutu yang ada.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Irvine, R.L. (1985). **An Organic Loading Study of Full-Scale Sequencing Batch Reactor.** *Journal of Water Pollution Control Federation.* Vol. 57. (3). Hal. 132-138.
- Malina, J.F. dan Pohland, F.G. (1992). **Design of Anaerobic Process for The Treatment of Industrial and Municipal Waste.** Technomic Publishing Company Inc. Pennsylvania.
- Melcer, H. (1987). **Conversion of Small Municipal Wastewater Treatment Plants to Sequencing Batch Reactors.** *Journal of Water Pollution Control Federation.* Vol. 59. (2). Hal. 79-85.
- Metcalf dan Eddy. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.** McGraw-Hill Book and Co. Singapore.
- Nocross, K.L. (1992). **Sequencing Batch Reactor – an Overview.** *Presented at the 16<sup>th</sup> Biennial Conference of the International Association on Water Pollution Research and Control.*
- Syafila, M. Wisnuprpto. dan Setiadi, T. (1996), **Pengolahan Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit.** Laporan Akhir Penelitian RUT I, DRN dan PAU Bioteknologi, ITB. Bandung.
- Yoong. (2000), **In Situ Respirometry in an SBR Treating Wastewater with High Phenol Concentrations.** *Water Research.* Vol. 34. (1). Hal. 239 – 245.