

PENGOLAHAN VINASSE DARI AIR LIMBAH INDUSTRI ALKOHOL MENJADI BIOGAS MENGGUNAKAN BIOREAKTOR UASB

TREATMENT OF VINASSE FROM ALCOHOL INDUSTRY WASTEWATER INTO BIOGAS USING UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB) BIOREACTOR

Soeprijanto*, Tantowi Ismail, Murtina Dwi Lastuti, dan Bernadeta Niken

Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS

*e-mail: soeprijanto@chem-eng.its.ac.id

Abstract

Distillery wastewater from ethanol fermentation has a high content of organic materials. Therefore, it can be used as raw materials for biogas production. The purpose of the experiment was to study the performance of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) bioreactor to convert vinasse wastewater to biogas and other simple materials. A bioreactor was inoculated with 4 L sludge from a full-scale UASB bioreactor. The bioreactor was operated at a volume of 9 L. Vinasse was fed to the bottom of the bioreactor with a flow rate of 0.4 L/h using dosing pump. A variety of organic loading rates (OLR) applied were 5.49, 10.99, and 16.49 kg/m³.day respectively; and hydraulic retention time (HRT) of approximately 22 h. The results showed that the maximum COD removal was 61.59% and the maximum biogas volume was 4.59 L/day (3.28 L CH₄/day) with OLR of 10.99 kg/m³.day. With OLR value of 5.49 kg/m³.day, a maximum CH₄ content of 74.86%, CH₄ yield of 0.11 m³ CH₄/kg COD consumed, and a heating value of CH₄ of 11,875 kcal/kg were achieved.

Keywords: biogas, bioreactor UASB, hydraulic retention time (HRT), organic loading rate (OLR), vinasse, yield of CH₄.

1. PENDAHULUAN

Air limbah yang dibuang dari industri pangan atau pertanian pada umumnya mempunyai kandungan bahan organik yang cukup tinggi, seperti pati, protein, gula (Poompavai, 2002; Ramasamy *et al.*, 2004), dan sedikit kandungan lipid (Borup dan Muchmore, 1992). Vinasse merupakan salah satu bahan yang terdapat dalam air limbah dari industri etanol yang merupakan produk bawah (*bottom product*) pada proses distilasi etanol. Sifat fisik dan kimianya ditentukan oleh bahan baku awal produksi etanol. Untuk bahan baku dari sirup gula tebu (*sugar cane juice*), vinasse yang dihasilkan akan berwarna coklat muda dengan kandungan padatan 20.000-40.000 mg/L. Apabila bahan baku alkohol berasal dari *molasses* maka vinasse akan

berwarna hitam kemerahan dengan kandungan padatan 50.000-100.000 mg/L. Limbah vinasse rata-rata memiliki *specific gravity* antara 1,02-1,04.

Air limbah tersebut dapat diuraikan secara biologis dengan memanfaatkan mikro-organisme dalam sebuah bioreaktor. Penguraian limbah organik dapat dilakukan dengan sistem aerobik seperti yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya (Yun, *et al.*, 1994; Yun, *et al.*, 2000; Soeprijanto, 2005; Soeprijanto dan Prajitno, 2007; Tsukahara *et al.*, 1999), pada pengolahan limbah makanan. Selain itu, pengolahan limbah organik juga dapat dilakukan dengan sistem anaerobik seperti yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Guerrero, *et al.*, 1999; Driessen dan Yspeert, 1999; Liu *et al.*, 2002).

Sistem pengolahan air limbah aerobik secara konvensional dengan menggunakan lumpur aktif merupakan pengolahan air limbah yang paling populer dilakukan, baik pada instalasi pengolahan air limbah domestik atau pada industri. Namun demikian, proses pengolahan ini kurang begitu menguntungkan karena menghasilkan banyak lumpur aktif dan hingga saat ini belum ada penyelesaian secara terintegrasi. Pada umumnya lumpur dikeringkan dan selanjutnya dibuat sebagai tanah urukan atau dibakar. Hal ini menyebabkan pembuangan lumpur aktif dari tahun ke tahun semakin meningkat, padahal lahan yang dipergunakan untuk menampung buangan lumpur aktif yang berupa *landfill* terbatas. Pengolahan lumpur aktif dengan pembakaran biasanya menggunakan alat *incinerator* yang membutuhkan biaya mahal (Park, Yun, dan Park, 2002). Disamping itu proses aerobik memerlukan lahan yang luas, *capital cost* tinggi dan biaya operasional tinggi.

Telah diketahui bahwa proses pengolahan limbah secara anaerobik dapat menghasilkan gas yang terdiri atas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dengan kata lain dikenal sebagai biogas. Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang potensial untuk diproduksi secara optimal, mengingat terbatasnya sumber energi yang berasal dari fosil saat ini.

Proses anaerobik secara konvensional dengan menggunakan UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) mempunyai keterbatasan dalam kapasitas pengolahannya. Keterbatasan transfer massa yang disebabkan oleh kondisi proses pencampuran kurang optimal di dalam reaktor (Shin, *et al.*, 2001). Proses ini kebanyakan diaplikasikan pada buangan industri dengan beban organik medium yang mempunyai konsentrasi COD dalam rentang 3.000-7.000 mg/L (Lettinga dan Hulshoff Pol, 1991). Kapasitas beban organik dan kapasitas hidrolis merupakan kriteria disain kritis untuk reaktor *upflow sludge bed*. Sementara di

dalam mendisain reaktor untuk mengolah air limbah dengan beban organik yang rendah ($\text{COD} < 2.500 \text{ mg/L}$), kapasitas hidrolis dari sistem reaktor umumnya merupakan batasan parameter. Sedangkan untuk mengolah air limbah dengan beban organik tinggi, kapasitas beban organik merupakan batasan parameter. Oleh karena itu reaktor UASB umumnya didisain untuk kecepatan alir ke atas maksimum sebesar 1,3 m/jam atau waktu tinggal hidrolis (HRT) minimum sebesar antara 4-5 jam dan kecepatan beban organik tidak melebihi $15 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$, pada temperatur 35°C (Driessen dan Yspeert, 1999).

Fang dan Yu (2002) dan Yu dan Fang (2003) mempelajari pengaruh HRT dan konsentrasi influen pada hidrolisis air limbah gelatin. Proses degradasi meningkat dari 84,1% sampai 89,6%, dengan peningkatan HRT dari 4 sampai 24 jam. Tetapi degradasi menurun dari 65,2% sampai 51,9% dengan kenaikan konsentrasi influen dari 2 sampai 30 g COD/L. Ramasamy *et al.* (2004) menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD diperoleh sebesar 95,6% sampai 96,3% terjadi pada beban organik dalam rentang antara 7,2 sampai 10,8 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{hari}$, menggunakan air limbah susu dalam reaktor UASB. Del Pozo dan Diez (2005) mempelajari penyisihan air limbah dari rumah potong hewan menggunakan reaktor *fixed-film anaerobic-aerobic* terintegrasi. Efisiensi penyisihan bahan organik dapat dicapai sebesar 93% dengan beban organik $0,77 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$.

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh beban organik pada bioreaktor UASB terhadap efisiensi penyisihan COD dan produksi biogas yang meliputi kandungan gas metan dan *yield* gas metan. Manfaat dari penelitian ini adalah mengubah limbah cair dari limbah industri etanol (vinasse) untuk menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler pada industri etanol. Kontribusi lain yaitu dapat menghemat penggunaan bahan bakar fosil atau digunakan sebagai sumber energi alternatif yang lain.

2. METODA

Persiapan Bahan

Limbah vinasse diperoleh dari pabrik alkohol PT Molindo, Lawang, yang mempunyai karakteristik nilai COD yang cukup tinggi sekitar 120.000 mg/L dan mempunyai pH rendah.

Mikroorganisme

Mikroorganisme yang digunakan berasal dari *sludge* unit pengolahan limbah anaerobik industri sorbitol di PT Sorini, Pandaan. Mikroorganisme dalam *sludge* tersebut diharapkan dapat beradaptasi dengan mudah untuk mendegradasi vinasse dari limbah industri alkohol yang mempunyai karakteristik hampir sama dengan limbah yang dihasilkan oleh PT Sorini.

Pembuatan Starter

Starter dibuat dengan mencampurkan *sludge* dari industri sorbitol PT Sorini dengan vinasse. Rasio kandungan COD terhadap biomassa untuk fermentasi dibuat menjadi 0,1 g COD/g MLVSS, dengan mencampurkan vinasse dengan konsentrasi 10.000 mg COD/L dan MLVSS 100.000 mg/L. Kemudian pH media diatur menjadi 7 dengan

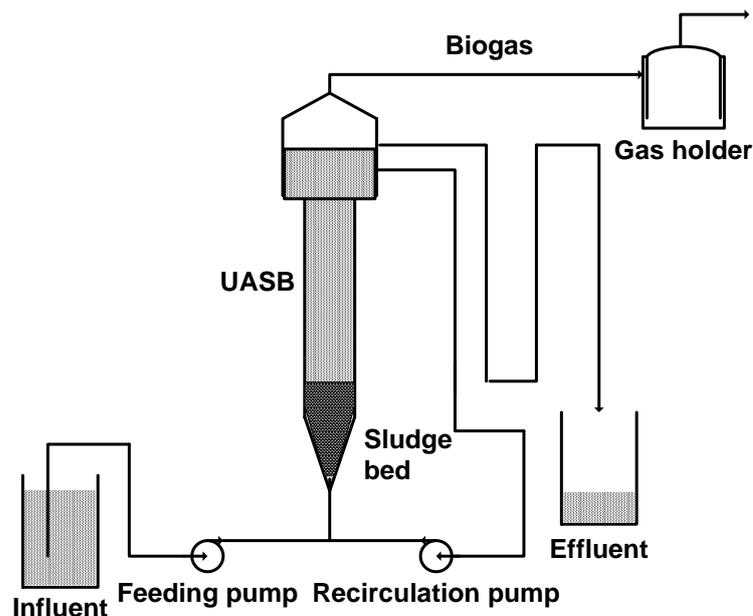
menambahkan larutan NaOH 2 N atau H₂SO₄ 2 N. Campuran ini kemudian diinkubasi selama 5 hari.

Pembuatan Uman

Vinasse dengan konsentrasi 5.000 mg COD/L, 10.000 mg COD/L, dan 15.000 mg COD/L, yang mempunyai komposisi COD : N : P = 500 : 5 : 1 disiapkan sebagai umpan. Nilai pH campuran diatur mendekati netral dengan menambahkan larutan NaOH 2 N atau larutan H₂SO₄ 2 N. Bioreaktor dioperasikan dengan HRT 22 jam, sehingga rasio F/M antara 0,05-0,16 mg COD/mg MLVSS.hari.

Persiapan Peralatan

Bioreaktor yang digunakan terbuat dari bahan *acrylic* dengan volume 9 L dan dilengkapi dengan *settler* supaya *sludge* tidak terikut keluar dari sistem. Serta dilengkapi dengan termometer untuk mengukur suhu dan manometer H₂O untuk mengukur tekanan. Bioreaktor juga dilengkapi dengan tangki penampung gas (*gas holder*), untuk menampung biogas yang terbentuk. Tangki gas dilengkapi dengan termometer dan manometer air untuk mengukur suhu dan tekanan biogas yang dihasilkan.



Gambar 1. Skema peralatan bioreaktor UASB dalam skala laboratorium

Tahap Operasi

Bioreaktor UASB yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 1. Starter yang sudah siap kemudian dimasukkan ke dalam bioreaktor sebanyak 4 L (setengah dari volume reaktor), kemudian ditambah dengan larutan vinasse hingga mencapai volume operasi 9 L. Vinasse dengan konsentrasi bervariasi, kemudian diumpankan ke dalam bioreaktor melalui bagian bawah dengan laju alir volumetris 0,4 L/jam menggunakan *dosing pump*. pH pada campuran influen secara kontinu diatur dengan NaOH atau H₂SO₄ untuk mendapatkan nilai pH mendekati netral. Proses anaerobik ini dijalankan sampai konsentrasi COD air limbah yang keluar konstan. Biogas yang dihasilkan diarahkan menuju *gas holder* dan volumenya diukur dengan mengamati beda ketinggian dari *gas holder*.

Analisis Hasil

Selama proses fermentasi berlangsung, analisis sampel dilakukan pada pengumpanan dan pengeluaran. Analisis COD dilakukan setiap 2 hari sekali, sedangkan analisis MLSS dan MLVSS dilakukan setiap 4 hari karena perubahan konsentrasi tidak terlalu signifikan, dengan mengikuti metoda standard (APHA, AWWA, dan WEF, 1995). Pengukuran pH, temperatur, tekanan bioreaktor, dan produksi biogas dilakukan setiap hari. Pada akhir operasi dilakukan analisis komposisi biogas dan nilai panas biogas (*heating value*).

Untuk analisis, sampel diambil sebanyak 20 mL, kemudian dicentrifuge pada 3.000g selama 10 menit. Supernatan disaring melalui filter membran Whatman dengan diameter pori-pori 0,45 µm. Cairan yang lolos filter dianalisis untuk COD. Padatan tersuspensi dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Metoda analisis COD menggunakan Spectroquant Nova COD 60 A methods.

Produksi biogas diukur menggunakan gas meter basah. Semua pengukuran gas dinyatakan pada 0°C dan tekanan standard 760 mmHg. Komposisi biogas (% methan) dianalisis menggunakan gas kromatografi (HP 5890A) dengan detektor konduktivitas panas (TCD). Kolom baja stainless (183 cm x 0,32 cm i.d) diisi dengan Porapak Q-80 mesh pada 80°C digunakan untuk menentukan komposisi gas metana.

3. HASIL ANALISIS

Profil Konsentrasi COD Selama Periode Operasi

Profil penyisihan konsentrasi COD selama periode operasi 16 hari dapat dilihat pada Gambar 2. Vinasse diumpankan ke dalam bioreaktor dengan konsentrasi COD bervariasi sebesar 5.000 mg/L, 10.000 mg/L, dan 15.000 mg/L. Bioreaktor dioperasikan dengan HRT 22 jam, sehingga diperoleh beban organik berturut-turut 5,49 kg/m³.hari; 10,99 kg/m³.hari; dan 16,49 kg/m³.hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada penurunan nilai COD dari masing-masing beban organik yang diumpankan. Hal ini menunjukkan telah terjadi penguraian bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam vinasse berupa senyawa kompleks yang telah diuraikan menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Penurunan konsentrasi COD maksimum rata-rata dapat dicapai pada hari ke-10, kemudian mencapai keadaan yang relatif stabil atau *steady state* hingga hari ke-16.

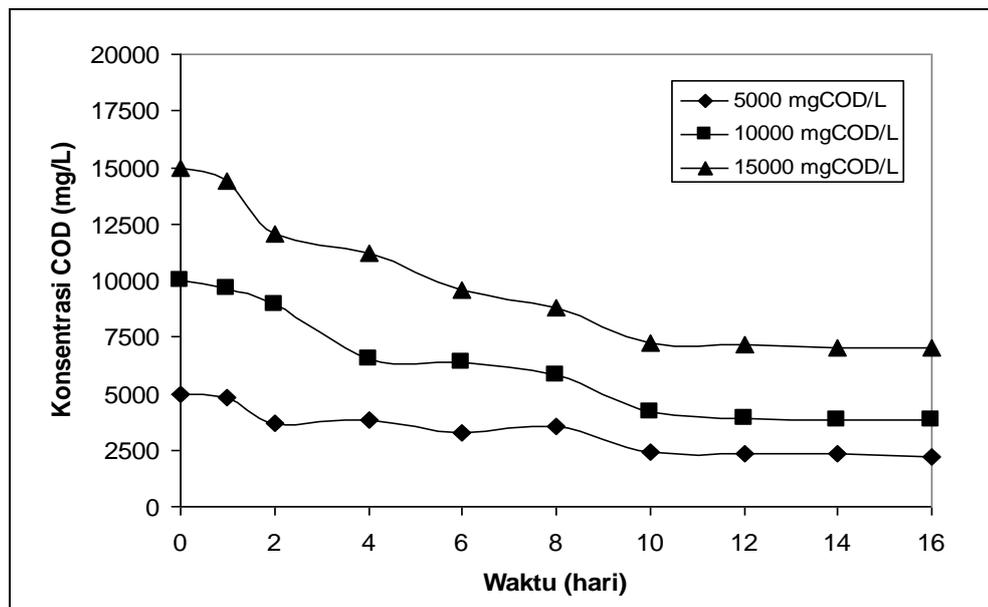
Dengan semakin besarnya beban organik yang diumpankan, maka penyisihan COD juga semakin besar. Jumlah penyisihan COD yang tertinggi dapat dicapai sebesar 7.952 mg COD/L pada beban organik 16,49 kg/m³.hari; kemudian diikuti dengan beban organik 10,99 kg/m³.hari dan 5,49 kg/m³.hari dengan penyisihan berturut-turut 6.159 mg COD/L dan 2.800 mg COD/L. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi COD yang

ditambahkan (5.000 sampai 15.000 mg COD/L), maka laju pertumbuhan mikroorganisme juga semakin meningkat, sehingga banyak komponen organik yang didegradasi.

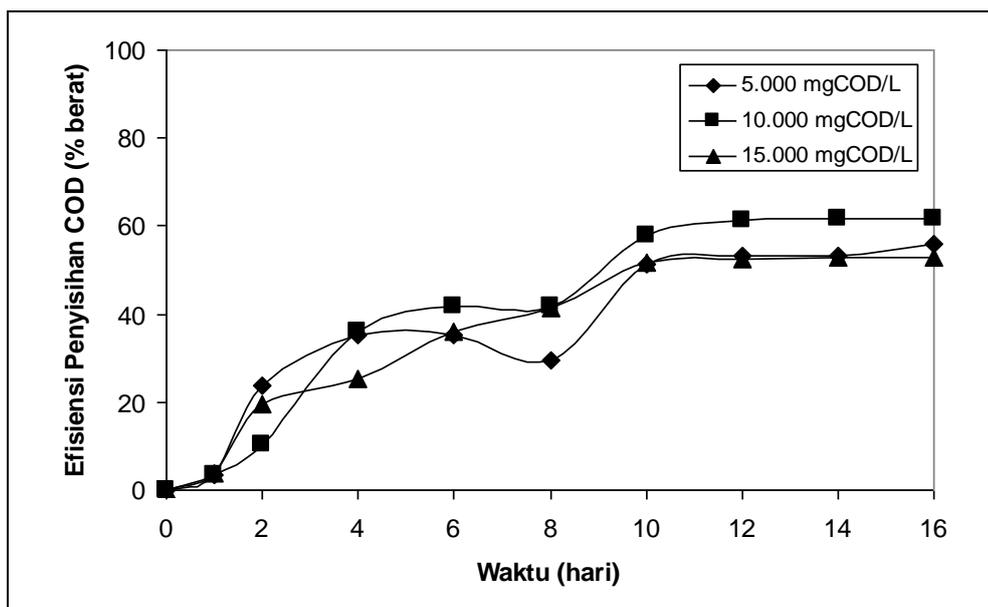
Profil Efisiensi Penyisihan COD Selama Periode Operasi

Gambar 3 menunjukkan efisiensi penyisihan COD selama periode operasi 16 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada awal

operasi hingga hari ke-10 terjadi kenaikan efisiensi penyisihan COD pada ketiga variasi konsentrasi umpan. Kemudian efisiensi penyisihan COD relatif konstan hingga hari ke-16. Besar efisiensi penyisihan COD pada beban organik 5,49 kg/m³.hari dan 16,49 kg/m³.hari dicapai relatif stabil sebesar 53,01% pada hari ke-10 hingga ke-16. Sedangkan efisiensi penyisihan COD tertinggi dapat dicapai pada beban organik 10,99 kg/m³.hari dengan efisiensi 61,59%.



Gambar 2. Profil konsentrasi COD selama periode operasi



Gambar 3. Profil efisiensi penyisihan COD selama periode waktu operasi

Bila dibandingkan antara beban organik 10,99 dan 16,49 kg/m³.hari, maka bakteri akan mengkonsumsi COD lebih banyak pada penggunaan beban organik yang lebih tinggi. Tetapi mempunyai efisiensi penyisihan COD lebih rendah. Hasil-hasil penelitian ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Rao *et al.* (2007), yang menyatakan bahwa penyisihan COD mencapai penurunan dari 65-55% bila beban organik yang diumpangkan ke dalam sistem dengan kisaran 29,6-46,2 kg COD/m³.hari.

Tetapi hasil-hasil penelitian ini mempunyai efisiensi penyisihan COD lebih rendah bila dibandingkan dengan beberapa peneliti yang lain. Wolmarans dan de Villiers (2002) menyatakan dengan laju beban organik 18 kg COD/m³.hari menghasilkan penyisihan COD lebih besar dari 90%. Li *et al.* (2008) mempelajari laju beban organik 10 kg COD/m³.hari dengan umpan 5.000-10.000 mg/L diperoleh penyisihan COD lebih besar dari pada 90%. Ramasamy *et al.* (2004) menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD diperoleh sebesar 95,6-96,3%. Terjadi pada beban organik dalam rentang antara 7,2 sampai 10,8 kg/m³.hari, dengan menggunakan air limbah susu dalam reaktor UASB. Farhadian, Borgei, dan Umrana (2007) melakukan pengolahan air limbah gula beet dengan bioreaktor *upflow anaerobic fixed bed* pada skala *pilot plant*, HRT 20 jam, dan umpan COD 2.000-8.000 mg/L, menghasilkan efisiensi penyisihan COD 75-93%. Baloch, Akunna, dan Collier (2007) mempelajari unjuk kerja karakteristik *bioreactor anaerobic granular bed* berbaffle diumpangkan dengan air limbah minuman, mencapai penyisihan COD 93-96% pada laju beban organik 2,16-13,38 kg COD/m³.hari. Rao *et al.* (2007) menyampaikan penyisihan COD dalam kisaran 92-96% dengan beban organik dalam kisaran 1,9-23,1 kg COD/m³.hari.

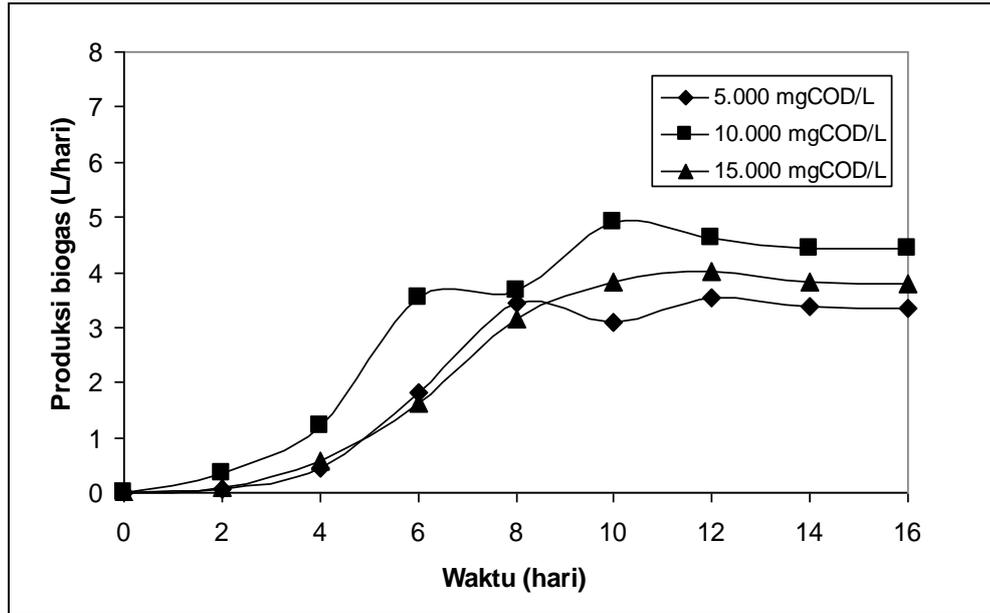
Produksi Biogas

Proses degradasi secara anaerobik melibatkan sejumlah bakteri yang berbeda. Tetapi proses penguraian dilakukan terutama oleh dua tipe

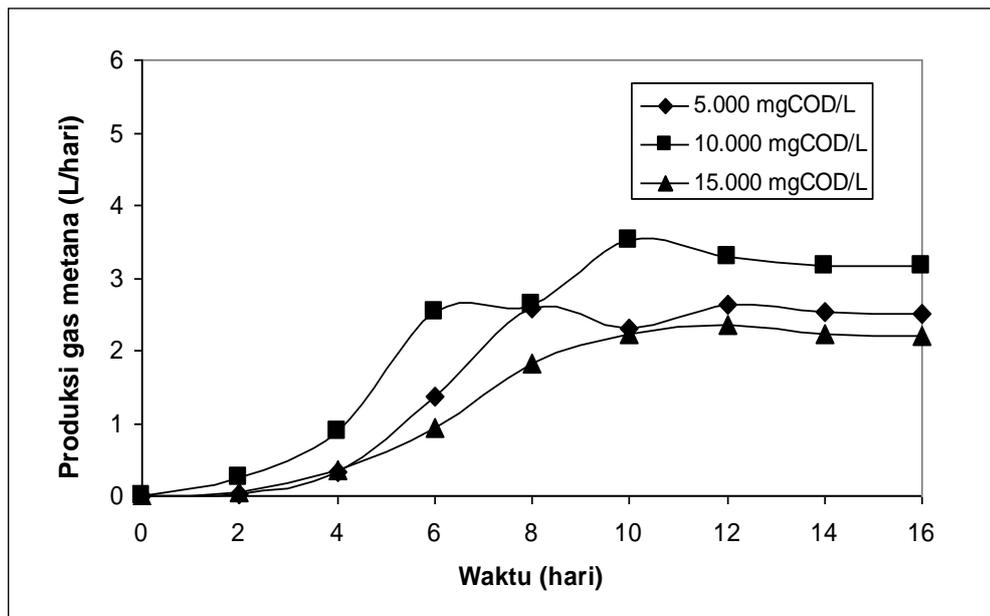
reaksi, yaitu *acidogenesis* dan *methanogenesis* (Baloch, Akunna, dan Collier, 2007; Zoetemeyer, Van Den Heuvel, dan Cohen, 1982). Pada tahap pertama *acidogenic*, bahan organik diuraikan menjadi VFA. Kemudian dimetabolis menjadi metana dalam tahap berikutnya oleh bakteri *methanogenic* untuk menghasilkan gas metana (biogas).

Gambar 4 menunjukkan produksi biogas selama waktu fermentasi. Produksi biogas hampir konstan setelah mencapai hari ke-10, karena proses sudah mencapai kondisi yang *steady*. Produksi maksimum biogas dapat dicapai sebesar 4,59 L/hari (3,28 L CH₄/hari) dengan beban organik 10,99 kg/m³.hari. Sedangkan dengan beban organik 16,49 kg/m³.hari menghasilkan biogas lebih rendah dari pada beban 10,99 kg/m³.hari dan 5 kg/m³.hari. Adanya kelebihan substrat yang diumpangkan ke dalam bioreaktor, menyebabkan bakteri *acidogen* dan *acetogen* semakin aktif dan semakin cepat tumbuh. Bahan organik dikonversi menjadi asam lemak semakin banyak dan menyebabkan penurunan pH. Namun, bakteri metanogen tidak dapat bekerja secara optimal pada pH yang rendah. Hal tersebut menyebabkan produksi biogas menurun walaupun penyisihan COD lebih besar. Ini menyebabkan ketidakseimbangan antara *acidogenesis* dan *methanogenesis* karena proses didominasi oleh proses *acidogenic* dan aktivitas *methanogenesis* kurang baik di dalam sistem.

Gas metana yang dihasilkan dalam penelitian ini (3,28 L CH₄/hari = 0,37 CH₄ L/L.hari) lebih besar bila dibanding dengan hasil yang diperoleh Cronin dan Lo (1998). Mereka menyampaikan volume gas metana rata-rata meningkat dari 0,08-0,19 CH₄ L/L.hari, dengan beban organik 2,91 g COD/L.hari dan penurunan HRT dari 5-3 hari. Tetapi hasil ini lebih rendah bila dibandingkan dengan Baloch, Akunna, dan Collier (2007) yang menyatakan bahwa produksi gas meningkat dengan meningkatnya beban organik. Volume biogas meningkat dari 16-62 L CH₄/hari untuk beban organik dari 2,16-13,38 kg COD/m³.hari.



Gambar 4. Profil produksi biogas selama periode waktu operasi ($P = 1 \text{ atm}$; $T = 29^\circ\text{C}$)



Gambar 5. Hubungan produksi gas metana selama periode waktu operasi ($P = 1 \text{ atm}$; $T = 29^\circ\text{C}$)

Kandungan Gas Metana

Kandungan gas metana terbesar dapat dicapai pada umpan COD 5.000 mg/L sebesar 74,86%. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri metanogen yang berada di dalam reaktor dapat bekerja secara baik, sedangkan pada COD yang lebih tinggi (COD 10.000 mg/L dan COD 15.000 mg/L) menunjukkan produksi CH_4 lebih rendah (71,60% dan 58,37%). Walaupun volume biogas yang dihasilkan paling tinggi pada COD 10.000

mg/L, tetapi mempunyai kandungan gas metana yang lebih rendah dibandingkan pada COD 5.000 mg/L. Kemungkinan sebagian bahan organik dikonversikan menjadi CO_2 . Hal ini terlihat dengan COD 10.000 mg/L kandungan CO_2 yang dihasilkan sebesar 9,82% (v/v) lebih tinggi dari pada COD 5.000 mg/L (6,11% v/v). Demikian juga pada COD 15.000 mg/L, kandungan CH_4 yang dihasilkan paling rendah dan dengan CO_2 12,24% (v/v) paling tinggi. Bakteri tidak bisa bekerja maksimal

pada COD 15.000 mg/L dan terjadi *substrat inhibition*, sehingga aktivitas *methanogenesis* kurang baik di dalam sistem.

Bila dibandingkan dengan nilai kalor biogas yang dihasilkan, nilai kalor maksimum dapat dicapai sebesar 11.875 kkal/kg dengan beban organik sebesar 5,49 kg/m³.hari. Diikuti oleh beban 10,99 dan 16,49 kg/m³.hari, dengan nilai kalor masing-masing 11.460 kkal/kg dan 9.744 kkal/kg.

Hasil penelitian ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh Cronin dan Lo (1998). Mereka menyampaikan bahwa kandungan metana dalam biogas yang diperoleh pada HRT 5 hari, menghasilkan 41-45% gas metana. Kandungan metana meningkat dari 51 menjadi 58% pada HRT 3-1,5 hari. Baloch, Akunna, dan Collier (2007) menggunakan beban organik 2,16-13,38 kg COD/m³.hari, menghasilkan gas metana bervariasi dari 62-75% selama seluruh operasi reaktor.

Kandungan metana pada reaktor ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil reaktor UASB yang lain dari penelitian terdahulu. Hal ini kemungkinan disebabkan hasil aktivitas metanogenik *sludge* lebih rendah dibandingkan dengan reaktor UASB yang diumpan dengan *granular sludge*. De Vegt, Vereijken, dan Dekkers (1992) menyampaikan kemurnian gas metana yang diperoleh sebesar 85% dalam mengolah air limbah minuman pada suhu 15-27°C dan HRT 4,3 jam dengan beban organik 11,7 kg COD/m³.hari menggunakan reaktor UASB dengan umpan *granular sludge*.

Yield Gas Metana

Yield metana maksimum yang diperoleh dalam penelitian mencapai 0,11 m³ CH₄/kg COD dikonsumsi dengan beban organik 5,49 kg/m³.hari. Nilai ini lebih rendah terhadap nilai teoritis yaitu sebesar 0,35 m³ CH₄/kg COD dikonsumsi (Tchobanoglous dan Burton, 1991). De Vegt, Vereijken, dan

Dekkers (1992) melakukan dengan HRT 2 hari, menghasilkan *yield* metan 0,32-0,34 m³ CH₄/kg COD dan dengan HRT 5 hari *yield* metan 0,30-0,32 m³ CH₄/kg COD. Saatci, Arslan, dan Konar (2003) menyampaikan laju konversi penyisihan COD menjadi metan adalah antara 0,16 dan 0,35 m³ CH₄/kg COD menggunakan beban organik dari 1,6-7,8 kg COD/m³.hari. Rao *et al.* (2007) melaporkan *yield* metan yang diperoleh dalam kisaran 0,27-0,32 m³ CH₄/kg COD dikonsumsi menggunakan beban organik dalam kisaran 1,9-23,1 kg COD/m³.hari. Rendahnya nilai *yield* gas metan yang dihasilkan dalam penelitian ini disebabkan oleh jenis bahan baku yang digunakan, yaitu merupakan senyawa organik yang sangat kompleks. Hanya sebagian bahan dapat diuraikan oleh mikroorganisme menjadi gas metan.

4. KESIMPULAN

Vinasse hasil dari air limbah industri alkohol dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biogas sebagai bahan bakar alternatif. Keadaan proses digester dapat mencapai *steady* setelah mencapai hari ke-10. Efisiensi maksimum penyisihan COD dapat dicapai sebesar 61,59% dan volume biogas maksimum sebesar 4,59 L/hari (3,28 L CH₄/hari) dengan beban organik 10,99 kg/m³.hari. Berdasarkan pada produksi biogas, kandungan gas CH₄ maksimum dapat dicapai sebesar 74,88%, *yield* gas CH₄ sebesar 0,11 m³ CH₄/kg COD dikonsumsi dan nilai kalor 11.875 kkal/kg dengan beban organik 5,49 kg/m³.hari. Nilai ini masih lebih rendah terhadap yang diharapkan pada perhitungan teoritis, yaitu sebesar 0,35 m³ CH₄/kg COD dikonsumsi.

DAFTAR SINGKATAN

COD	=	<i>Chemical Oxygen Demand</i> , kg/m ³
F/M	=	<i>Ratio Food/Microorganisms</i> , kg COD/kg MLVSS.hari

HRT	=	<i>Hydraulic Retention Time</i> , hari
MLSS	=	<i>Mixed Liquor Suspended Solids</i> , kg/m ³
MLVSS	=	<i>Mixed Liquor Volatile Suspended Solids</i> , kg/m ³
UASB	=	<i>Up flow Anaerobic Sludge Blanket</i>
VFA	=	<i>Volatile Fatty Acids</i>

DAFTAR PUSTAKA

- APHA, AWWA, dan WEF (1995). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th Edition. American Public Health Association, Washington DC.
- Baloch, M.I., Akunna, J.C., dan Collier, P.J. (2007). The Performance of A Phase Separated Granular Bed Bioreactor Treating Brewery Wastewater. *Bioresource Technology*. 98. 1849-1855.
- Borup, M.B. dan Muchmore, D.R. (1992). Food-Processing Waste. *Water Environment Research*. 64(4). 413-417.
- Cronin, C. dan Lo, K.V. (1998). Anaerobic Treatment of Brewery Wastewater Using UASB Reactors Seeded with Activated Sludge. *Bioresource Technology*. 64. 33-38.
- Del Pozo, R. dan Diez, V. (2005). Integrated Anaerobic-aerobic Fixed-film Reactor for Slaughterhouse Wastewater Treatment. *Water Research*. 39. 1114 -1122.
- De Vegt, A., Vereijken, T., dan Dekkers, F. (1992). Full-scale Anaerobic Treatment of Low Strength Brewery Wastewater at Sub-optimal Temperature. *Proceedings of The 47th Industrial Waste Conference*. May, 1992, Purdue University. pp. 409-417, Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- Driessen, W. dan Yspeert, P. (1999). Anaerobic Treatment of Low, Medium, and High Strength Effluent in The Agro-Industry. *Water Science and Technology*. 8. 221-228.
- Fang, H.H.P. dan Yu, H.Q. (2002). Mesophilic Acidification of Gelatinaceous Wastewater. *Journal of Biotechnology*. 93(2). 99-108.
- Farhadian, M., Borghei, M., dan Umrانيا, V.V. (2007). Treatment of Beet Sugar Wastewater by UAFB. *Bioresource Technology*. 98. 3080-3083.
- Guerrero, L., Omil, F., Mendez, R., dan Lema, J.M. (1999). Anaerobic Hydrolysis and Acidogenesis of Wastewaters from Food Industries with High Content of Organic Solids and Protein. *Water Research*. 33(15). 3281-3290.
- Lettinga, G. dan Hulshoff Pol, L.W. (1991). UASB Process Design for Various Types of Wastewaters. *Water Science and Technology*. 24. 87-107.
- Li, J., Hu, B., Zheng, P., Qaisar, M., dan Mei, L. (2008). Filamentous Granular Sludge Bulking a Laboratory Scale UASB Reactor. *Bioresource Technology*. 99. 3431-3438.
- Liu, H.W., Walter, H.K., Vogt, G.M., Vogt, H.S., dan Holbein, B.E. (2002). Steam Pressure Disruption of Municipal Solid Waste Enhances Anaerobic Digestion Kinetics and Biogas Yield. *Biotechnology and Bioengineering*. 77. 121-129.
- Park, J.I., Yun, Y.S., dan Park, J.M. (2002). Long Term Operation of Slurry Bioreactor for Decomposition of Food

- Wastes. *Bioresource Technology*. 84. 101-104.
- Poompavai, S. (2002). Treatment of Different Industry Wastewaters. MPhil Thesis. Pondicherry University, Pondicherry, 103.
- Ramasamy, E.V., Gajalakshmi, S., Sanjeevi, R., Jithes, M.N., dan Abbasi, S.A. (2004). Feasibility Studies on The Treatment of Dairy Wastewaters with Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. *Bioresource Technology*. 93. 209-212.
- Rao, A.G., Reddy, T.S.K., Prakash, S.S., Vanajakshi, J., Joseph, J., dan Sarma, P.N. (2007). pH Regulation of Alkaline Wastewater With Carbon Dioxide: A Case Study of Treatment of Brewery Wastewater in UASB Reactor Couple With Absorber. *Bioresource Technology*. 98. 2131-2136.
- Saatci, Y., Arslan, E.I., dan Konar, V. (2003). Removal of Total Lipids and Fatty Acids from Sunflower Oil Factory Effluent by UASB Reactor. *Bioresource Technology*. 87. 269-272.
- Shin, H.S., Han, S.K., Song, Y.C., dan Lee, C.Y. (2001). Performance of UASB Reactor Treating Leachate from Acidogenic Fermenter in The Two-phase Anaerobic Digestion of Food Waste. *Water Research*. 35. 3441-3447.
- Soeprijanto (2005). Pengolahan Limbah Padat Organik Menggunakan Slurry Bioreaktor. Jurusan Teknik Kimia, FTI, ITS.
- Soeprijanto dan Prajitno, D.H. (2007). Peruraian Limbah Makanan Menggunakan Bioreaktor Aerobik. Laporan Penelitian. Program Studi D3 Teknik Kimia, FTI-ITS.
- Tchobanoglous, G. dan Burton, F.L. (1991). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, third edition. McGraw-Hill, New York, pp.1334.
- Tsukahara, K., Yagishita, T., Ogi, T., dan Sawayama, S. (1999). Treatment of Liquid Fraction Separated from Liquidized Food Waste in An Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 87. 554-556.
- Yu, H.Q. dan Fang, H.H.P. (2003). Acidogenic of Gelatine-rich Wastewater in an Upflow Anaerobic Reactor: Influence of pH and Temperature. *Water Research*. 37(1). 55-66.
- Yun, Y.S., Park, J.I., Suh, M.S., dan Park, J.M. (2000). Treatment of Food Wastes Using Slurry-phase Decomposition. *Bioresource Technology*. 73. 21-27.
- Yun, Y.S., Yoo, K.Y., Park, H.W., Kim, K.S., dan Yu, M.J. (1994). Determination of Optimum Process Variables in The Design and Operation of Aerobic Composting for Food Wastes. *Journal of Korea Solid Wastes Engineering Society*. 11. 377-387.
- Zoetemeyer, R.J., Van Den Heuvel, J.C., dan Cohen, A. (1982). pH Influence on Acidogenic Dissimilation of Glucose in an Anaerobic Digester. *Water Research*. 16. 303-311.
- Wolmarans, B. dan de Villiers, G.H. (2002). Start-up an UASB Effluent Treatment Plant on Distillery Wastewater. *Water SA*. 28(1). 63-68.