

# PENGOLAHAN SLUDGE DENGAN PROSES BIOLOGI ANAEROBIK

Ikkal dan Rudi Nugroho

Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair,  
Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT

## Abstract

*Mixed sludge generated from wastewater treatment plant increases annually. Organic content as COD of the mixed sludge is about 20.000mg/l, which is considered to be high-strength wastewater. Due to the sludge have high water content, it cannot self-burn. In addition, in many industries, there is not enough land for landfill. For this reason, an experiment of anaerobic treatment was conducted to investigate the degradation of organic materials in the mixed sludge. The result shows that high degradation efficiency of organic sludge of 90, 70 and 50% was achieved at organic loading rate of 0,7; 1,4 and 2,1 g/l/d respectively. The degradation efficiency decreased drastically when the organic loading rate increased up to 2.8 g/l/d. During the experiment, gas evolution rate was low due to low organic content of the sludge.*

**Kata kunci:** *Mixed sludge, anaerobic treatment, organic sludge degradation, biogas*

## 1. PENDAHULUAN

Pada sebagian besar industri, untuk menanggulangi dampak negatif yang ditimbulkan air limbah buangnya, telah dibangun instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Namun, beroperasinya IPAL juga memunculkan masalah baru yaitu timbulnya lumpur atau "sludge" sebagai produk samping IPAL. Khusus pada IPAL sistem biologis, sludge yang timbul adalah berupa sludge organik yang berasal dari kolam pengendap awal (*primary settling tank*) dan dari kolam pengendap akhir (*secondary settling tank*). Sludge dari *primary settling tank* disebut *primary sludge* yang merupakan endapan padatan yang ikut mengalir bersama air limbah, sedangkan sludge dari *secondary settling tank* disebut *secondary sludge*, merupakan endapan mikroba sisa yang dibuang dari unit IPAL. Sejalan dengan pengoperasian IPAL, akumulasi sludge dari hari ke hari juga terus bertambah sehingga menimbulkan masalah baru cukup serius dilingkungan pabrik. Sebagai gambaran, pada salah satu kawasan IPAL terpadu di Cikarang,

Jawa Barat produksi sludge mencapai 150 m<sup>3</sup>/hari. Karena tidak memiliki teknologi untuk mengolah sludge, maka sampai saat ini sludge tersebut masih belum diolah secara mandiri, tetapi dibawa dan dikelola ditempat lain, dimana setiap tahun membutuhkan biaya sangat besar, mencapai ratusan juta rupiah.

Pada beberapa industri, sludge ini hanya ditumpuk pada lahan-lahan kosong di sekitar pabrik atau dijadikan sebagai tanah urukan. Cara seperti ini jelas tidak tepat, karena bahan-bahan organik sludge akan mencemari lingkungan serta air tanah disekitarnya. Pada sebagian industri, volume sludge diperkecil dengan cara mengurangi kadar airnya dengan alat *belt press* atau *filter press*. Ada juga industri yang menggunakan fasilitas *drying bed* untuk mengeringkan sludgenya. Cara ini selain membutuhkan lahan yang sangat luas, pengeringan dengan *sludge drying bed* sangat tergantung pada kondisi cuaca. Disamping cara-cara diatas, ada juga industri yang membakar sludge yang dihasilkannya. Cara terakhir ini



Dekomposisi asam laktat oleh *Clostridium Formicoaceticum*  
 $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

Asam laktat

Reaksi  $\text{H}_2$  dengan  $\text{CO}_2$  oleh *Clostridium Aceticum* dan *Acetobacterium Woodii*



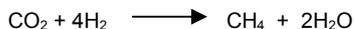
### 3. Tahap pembentukan gas metana (methanogenesis)

Proses ini merupakan tahap akhir dari keseluruhan konversi zat organik menjadi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$ , dimana sumber utama pembentukan gas metana adalah asam asetat (70-80%),  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}_2$ . Dalam proses ini terdapat dua group mikro organisme yang telah diidentifikasi yaitu :

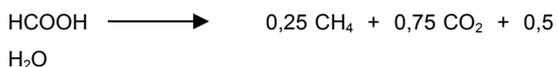
a. *Obligate acetoclastic methanogenens* yang hanya menggunakan asam asetat sebagai sumber energi.



b. *Obligate hydrogenotropic methanogenens* yang menggunakan  $\text{H}_2$  sebagai sumber energi dan  $\text{CO}_2$  sebagai sumber karbon.



Disamping itu, gas metana juga dihasilkan dari konversi asam format dan methanol.



Asam format



Methanol

## 1.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Proses Anaerobik

Kesuksesan proses pengolahan secara anaerobik dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

### 1. Derajat keasaman (pH)

Pada umumnya bakteri metanogen pembentuk gas metana merupakan bakteri yang sangat sensitif terhadap perubahan pH dan mempunyai kisaran pH optimum antara 6.5 – 7.5<sup>5)</sup>. Diatas atau dibawah pH ini, proses penguraian polutan masih dapat

berjalan tetapi efisiensinya akan menurun. Sedangkan bakteri pembentuk asam mempunyai rentang toleransi pH yang lebih tinggi dibanding bakteri pembentuk gas metana.

### 2. Temperatur

Temperatur sangat mempengaruhi laju metabolisme, keseimbangan ionisasi, dan kelarutan substrat. Hal ini terjadi karena reaksi-reaksi kimia dan fisik di dalam proses biologi sangat tergantung pada temperatur. Pengolahan anaerobik kondisi mesophilik berlangsung pada suhu antara 25°C sampai 40°C dengan suhu optimum 37°C, sedangkan kondisi thermophilik pada temperatur 50 sampai 60°C dengan suhu optimum 53°C<sup>6)</sup>. Untuk daerah tropis seperti di Indonesia yang suhunya tidak terlalu fluktuatif dimana suhu harian berkisar 28 sampai 33 °C , proses anaerobik cukup dijalankan pada suhu kamar artinya tidak perlu penambahan panas dari luar sistem.

### 3. Hydraulic retention time (HRT) atau waktu tinggal

HRT adalah lamanya substrat berada dalam reaktor sebelum keluar sebagai hasil olahan (effluent). HRT harus lebih lama dari waktu generasi bakteri anaerobik untuk mencegah agar mikroba di dalam reaktor tidak keluar (washed out) dari reaktor bersama air olahan. Bioreaktor jenis pertumbuhan melekat memiliki HRT antara 1 sampai 10 hari, lebih pendek dari bioreaktor jenis pertumbuhan tersuspensi yaitu 10 sampai 60 hari<sup>7)</sup>

### 4. Nutrisi

Pada proses biologi anaerobik, limbah harus memiliki keseimbangan antara jumlah karbon (C) dengan nutrisi seperti nitrogen (N) dan phosphor (P) yang ideal. Perbandingan C:N:P menurut Sahm (1984) 700 : 5 : 1. Peneliti lain berpendapat bahwa rasio C : N untuk menghasilkan biogas yang maksimal harus bernilai 25 : 1 (Polprasert, 1989). Bakteri metanogen menggunakan senyawa ammonia dan sulfida sebagai sumber nitrogen dan sulfur. Mineral-mineral seperti besi, kobal, dan nikel juga dibutuhkan dalam sangat sedikit<sup>8)</sup>.

## 5. Racun.

Beberapa senyawa kimia yang bersifat racun terhadap mikroba anaerobik, adalah:

**Oxygen.** Kehadiran oksigen sangat mengganggu aktifitas mikroba anaerobik, terutama terutama kelompok mikroba pembentuk gas (*methanogen*), karena bakteri *methanogen* termasuk golongan mikroorganisme anaerob mutlak.

**Sulfida.** Bakteri *methanogen* sangat sensitif terhadap senyawa sulfida. Diketahui konsentrasi senyawa sulfida lebih dari 200 mg/l akan meracuni bakteri *methanogen*<sup>5)</sup>.

**Amonium.** Konsentrasi  $\text{NH}_3$  bebas sangat mempengaruhi produktivitas bakteri *methanogen*. Apabila pH diatas 7,5, konsentrasi  $\text{NH}_3$  bebas sebesar 150 mg/l didalam bioreaktor menyebabkan produksi biogas turun sampai 50%<sup>5)</sup>.

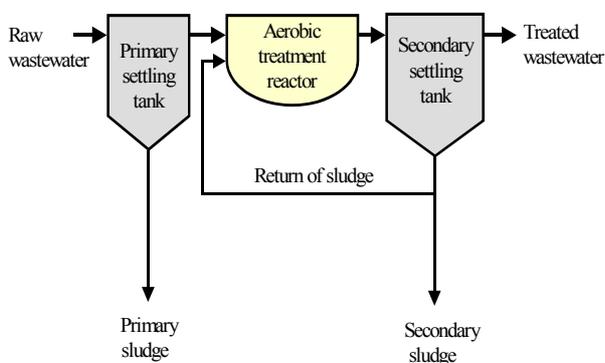
**Asam-asam organik.** Akumulasi asam-asam organik menghalangi aktivitas bakteri *methanogen*. Konsentrasi asam asetat diatas 3.000 mg/l atau konsentrasi asam propionat 4.000 mg/l menyebabkan produksi biogas berkurang secara drastis<sup>5)</sup>.

**Logam berat.** Kehadiran ion-ion  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+6}$  dalam air limbah industri pada konsentrasi tinggi sangat mengganggu proses anaerobik<sup>6)</sup>.

## 2. BAHAN DAN METODA

### 2.1 Sludge

Sludge yang diolah pada penelitian ini diambil dari salah satu IPAL Kawasan (PT. A) yang berlokasi di Cikarang, Jawa Barat. Sludge yang diteliti merupakan sludge campuran (mixed sludge) dari primary dan secondary sludge dengan perbandingan 1 volume berbanding 2 volume (1 vol : 2 vol).



Gambar 2. Skematik diagram IPAL PT. A

Perbandingan ini disesuaikan dengan perbandingan jumlah primary dan secondary sludge yang dihasilkan oleh PT. A tersebut. Gambar 2 adalah skematik diagram IPAL PT. A serta tempat-tempat pengambilan sludge yang meliputi *primary* serta *secondary sludge*.

Gambar 3 adalah photo primary dan secondary sludge yang baru diambil dari masing-masing kolam pengendap. *Primary sludge* berwarna hitam sedangkan *secondary sludge* berwarna coklat kekuning-kuningan.

Gambar 3. Photo primary sludge (kanan) dan secondary sludge (kiri)



2.2 Mikroba Anaerobik

Sebagai sumber mikroba anaerobik untuk mengolah sludge, diambil cairan dalam bioreaktor anaerobik Rumah Pematangan Hewan Cakung (RPH), Jakarta Timur. Sebelum digunakan untuk mengolah sludge, terlebih dulu dilakukan pengujian apakah cairan mikroba anaerob tersebut masih aktif atau tidak. Caranya yaitu cairan mikroba yang telah diambil dimasukkan kedalam botol bermulut lebar mempunyai volume 1 liter yang difungsikan sebagai bioreaktor (Gambar 4). Botol ditutup dengan karet yang telah diberi 2 buah lobang. Lobang pertama digunakan untuk tempat sampling, sedangkan yang kedua untuk tempat keluar biogas menuju tangki penampung biogas (gas holder). Setiap hari cairan didalam botol diambil dalam jumlah tertentu, kemudian limbah sintesis dalam jumlah yang sama dimasukkan ke dalam botol sebagai pengganti cairan yang diambil. Limbah sintesis yang digunakan adalah larutan gula sebagai sumber karbon dengan konsentrasi 25 g/l. Keaktifan mikroba diamati dari jumlah biogas yang dihasilkan setiap hari sebagai hasil penguraian senyawa karbon gula. Gas holder dilengkapi dengan skala pembacaan untuk mengetahui jumlah produksi biogas.

Gambar 4. Rangkaian peralatan untuk pengujian



keaktifan mikroba

### 2.3 Bioreaktor anaerobik

Bioreaktor yang digunakan untuk mengolah sludge adalah tangki berbentuk silinder yang dibuat dari bahan akrilik, mempunyai tinggi 48 cm, diameter 20 cm dan volume operasi 12 liter. Pengadukan isi bioreaktor dilakukan dengan cara mensirkulasikan cairan didalam bioreaktor dengan bantuan pompa jenis Handy Pump (Shimisu dan Wilo, Jepang) kapasitas 20 l/menit. Pengadukan dilakukan secara kontinyu selama 24 jam dalam satu hari. Pengadukan berfungsi untuk membebaskan biogas yang terbentuk serta menjaga homogenitas cairan dalam bioreaktor. Gas holder yang digunakan untuk menampung biogas juga dibuat dalam bahan akrilik bervolume 10 liter. Gambar 5 adalah rangkaian peralatan yang digunakan untuk penelitian pengolahan sludge dengan proses



Gambar 5. Rangkaian peralatan pengolahan sludge dengan proses anaerobik

biologi anaerobik. Mula-mula kedalam bioreaktor dimasukkan cairan mikroba anaerobik sebanyak 11,75 liter dan limbah sintesis yang mengandung gula sebagai sumber karbon sebanyak 0,25 liter. Mula-

mula bioreaktor diberi umpan limbah sintesis. Setelah biogas mulai terbentuk yaitu setelah 3 hari, limbah sintesis sebagai umpan bioreaktor diganti dengan sludge campuran dari IPAL PT. A. Pengambilan cairan dari dalam bioreaktor dan pemasukan umpan baru kedalam bioreaktor dilakukan setiap hari secara "draw-and-fill", yaitu cairan didalam bioreaktor diambil dalam jumlah tertentu, kemudian sludge segar dalam jumlah yang sama dimasukkan kedalam bioreaktor. Cairan hasil olahan kemudian dianalisa untuk mengetahui pH dan konsentrasi bahan organik yang tersisa. Metode draw and fill digunakan karena jumlah draw and fill setiap hari sedikit, disamping itu konsentrasi padatan dalam sludge cukup tinggi sehingga pengumpanan sludge dengan pompa secara kontinyu sulit dilakukan. Jumlah produksi biogas setiap hari diketahui dari pembacaan skala gas holder. Dalam selang waktu tertentu, biogas dalam gas holder disampling dan dianalisa untuk mengetahui konsentrasi gas  $CH_4$  dan  $CO_2$ . Penelitian dilaksanakan pada suhu ruangan.

### 2.4 Analisa

Beberapa parameter penting yang dianalisa dalam pengolahan sludge adalah sebagai berikut:

#### a. pH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan Horiba pH Meter F-22 (Horiba, Jepang). Sebelum digunakan, elektroda pH meter dikalibrasi dengan larutan standar 4,01 dan 6,86.

#### b. Produksi Gas

Jumlah produksi biogas diukur menggunakan gas holder yang dilengkapi skala pembacaan. Komposisi biogas meliputi  $CH_4$  dan  $CO_2$  diukur menggunakan serbuk CaO. Biogas didalam gas holder diambil menggunakan *syringe* dari bahan gelas bervolume 100 ml. Kemudian diinjeksikan kedalam botol bertutup rapat yang berisi serbuk CaO. Dalam botol, gas  $CO_2$  akan bereaksi dengan serbuk CaO membentuk  $CaCO_3$ , sedangkan gas  $CH_4$  akan balik kembali kedalam *syringe*. Selisih jumlah gas awal dan akhir dalam *syringe* adalah jumlah gas  $CO_2$ , sedangkan gas yang masih tersisa dalam *syringe* adalah gas  $CH_4$ . Disini diasumsi bahwa biogas hanya mengandung gas  $CO_2$  dan gas  $CO_4$ .

### c. Chemicals Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi polutan organik dalam jumlah tertentu dan merupakan salah satu parameter penting dalam menetapkan tingkat pencemaran. Semakin tinggi kadar COD, maka tingkat pencemaran limbah tersebut juga makin tinggi. COD yang diukur disini adalah COD total, meliputi COD dalam cairan dan COD dalam padatan sludge. Metoda yang digunakan mengikuti prosedur Hach (methode no. 430). Sludge setelah diencerkan dimasukkan kedalam reagent Hach, kemudian dipanaskan dalam COD reaktor pada suhu 150°C selama 120 menit. Setelah dingin, konsentrasi COD diukur dengan Spektrofotometer (Hach DR/2000, Amerika) pada panjang gelombang 420 nm. Nilai yang terbaca pada spektrometer kemudian dikalikan dengan tingkat pengenceran yang dilakukan diawal proses, maka akan diperoleh konsentrasi COD (mg/l)

### d. Total Solid (TS) dan Total Volatile Solid (TVS)

TS dan TVS merupakan parameter penting dalam pengolahan limbah yang mempunyai konsentrasi padatan tinggi seperti sludge. TS adalah jumlah padatan total dalam limbah, meliputi padatan terlarut dan tidak larut, sedangkan TVS menunjukkan jumlah bahan organik yang terdapat didalam TS. Mula-mula sampel dalam jumlah tertentu dimasukkan kedalam cawan porselin yang telah ditimbang beratnya (A g). Cawan dipanaskan diatas *water bath* pada suhu 105°C untuk menguapkan air dalam sludge, kemudian dikeringkan dalam *drying oven* 105°C selama 1 malam. Setelah didinginkan, berat cawan dan sludge kering ditimbang (B g). Selanjutnya sludge kering dibakar dalam *burner* pada suhu 600°C selama 30 menit. Setelah dingin, cawan dan abu sisa pembakaran ditimbang (C g). Besarnya TS adalah pengurangan B dengan A (mg/l), sedangkan nilai TVS adalah selisih antara B dengan C (mg/l).

### e. Suspended Solid (SS) dan Volatile Suspended Solid (VSS)

Disamping TS dan TVS, parameter SS dan VSS juga cukup penting dalam pengolahan sludge. TS menunjukkan jumlah padatan yang tersuspensi dalam limbah,

sedangkan VSS adalah jumlah material organik dalam SS. Cara mengukur konsentrasi SS dan VSS hampir sama dengan cara mengukur konsentrasi TS dan TVS. Karena disini yang diukur hanya padatan sludgenya saja, maka cairan yang ada dalam sludge harus dipisahkan, yaitu dengan alat sentrifugator (Kokusan, type H 103, Jepang). Caranya, sampel dalam jumlah tertentu dimasukkan kedalam tabung khusus yang dilengkapi penutup, kemudian disentrifius pada kecepatan 4.000 rpm selama 10 menit. Cairan supernatan yang terpisah pada dibagian atas dibuang dan padatan dipindahkan kedalam cawan porselin. Langkah-langkah selanjutnya adalah sama seperti cara analisa parameter TS dan TVS.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Analisa sludge

Salah satu contoh hasil analisa sludge IPAL PT. A adalah seperti terlihat pada Tabel 1, meliputi konsentrasi TS, TVS, SS, VSS dan COD primary dan secondary sludge. Pada bagian kanan Tabel juga disajikan hasil analisa sludge campuran.

Tabel 1. Hasil analisa primary, secondary dan sludge campuran (mixed sludge)\*

Parameter	Unit	Primary sludge	Secondary sludge	Mixed sludge
pH	(-)	6.8	6.9	6.8
TS	mg/l	49.225	21.255	32.335
TVS	mg/l	24.815	8.250	14.895
SS	mg/l	43.630	20.105	31.570
VSS	mg/l	21.525	6.805	13.775
COD	mg/l	23.000	11.400	20.250

\*campuran primary sludge dan secondary sludge (1 vol : 2 vol).

Disini terlihat, pH sludge mendekati normal yaitu sekitar 7. Primary sludge yang berasal dari bak pengendap awal IPAL memiliki konsentrasi TS, SS dan COD sangat tinggi yaitu masing-masing 49.225, 43.630 dan 23.000 mg/l, sedangkan secondary sludge cukup rendah masing-masing 21.255, 20.105 dan 11.400 mg/l atau sekitar setengahnya. *Sludge* campuran yang diolah pada penelitian ini mempunyai kadar konsentrasi TS, SS dan COD cukup tinggi

yaitu masing-masing 32.335, 31.570 dan 20.250 mg/l. Konsentrasi organik TVS dan VSS kurang dari 50% TS dan SS, yaitu masing-masing 14.895 dan 13.775 mg/l.

Tabel 2 adalah hasil analisa unsur-unsur dominan pembentuk sludge yang meliputi karbon, hidrogen dan nitrogen. Dari Tabel 2 diketahui bahwa kandungan karbon pada masing-masing sludge hanya sekitar 25 dan 32%. Nilai-nilai ini lebih kecil bila dibandingkan dengan kandungan karbon pada sludge organik IPAL limbah domestik yaitu mencapai 45%. Kecilnya kandungan karbon ini berpengaruh pada tingkat degradasi sludge dan jumlah biogas yang akan dihasilkan.

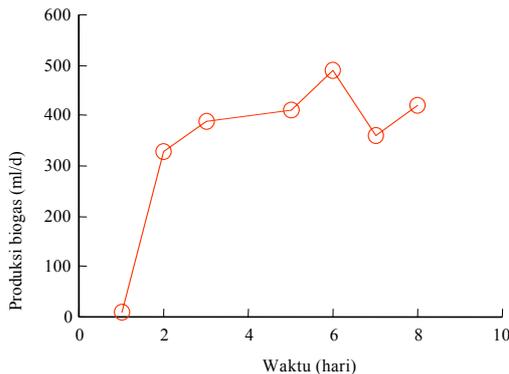
Tabel 2. Konsentarsi karbon, hydrogen, nitrogen dan protein dalam sludge

Unsur	Primary Sludge	Secondary Sludge
Carbon (C)	25,8 %	32,3 %
Hidrogen (H)	3,8 %	4,8 %
Nitrogen (N)	3,25 %	4,7 %

### 3.2. Pengujian Keaktifan Mikroba

Gambar 6 adalah produksi biogas hasil penguraian polutan organik limbah

Gambar 6. Produksi Biogas pada Limbah Sintetis



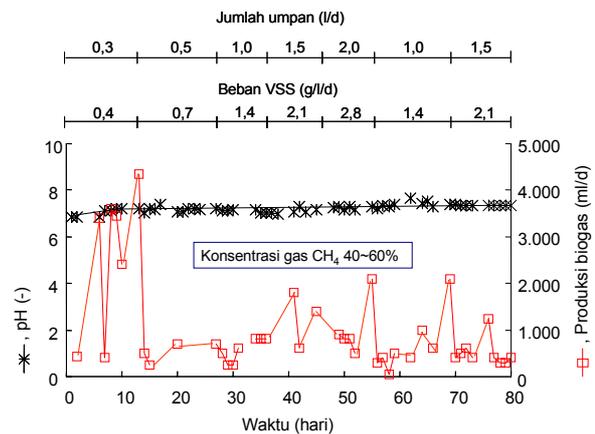
sintetis oleh mikroba anaerobik. Terlihat disini, mulai dari hari pertama penambahan limbah sintetis kedalam bioreaktor sudah terbentuk biogas. Selanjutnya pada hari-hari berikutnya jumlah biogas yang dihasilkan relatif stabil. Keadaan ini memperlihatkan bahwa mikroba yang akan digunakan pada penelitian ini mempunyai keaktifan yang cukup tinggi dan relatif stabil.

### 3.3 Pengolahan sludge campuran

Seperti dijelaskan diatas, mula-mula bioreaktor diberi umpan limbah sintetis, kemudian setelah 3 hari limbah sintetis diganti dengan sludge campuran dari IPAL PT. A.. Pengumpanan sludge dimulai dari jumlah kecil, kemudian secara bertahap jumlah sludge dinaikan sampai diperoleh beban maksimum yang bisa dicapai. Pada tiap beban dilakukan analisa pH, COD, TS, VS, SS dan VSS disamping mengitung jumlah produksi dan konsentrasi biogas.

#### 3.3.1 Pengaruh perubahan beban terhadap pH dan produksi biogas

Gambar 7 adalah perubahan pH dan produksi gas selama penelitian pengolahan sludge berlangsung. Bagian paling atas dalam



Gambar 7. Pengaruh kenaikan jumlah umpan terhadap pH dan produksi biogas

gambar adalah jumlah umpan yang dimasukkan kedalam bioreaktor dan dibawahnya adalah beban organik VSS (VSS loading rate). Beban VSS (g/l/d) dihitung dengan cara mengalikan konsentrasi VSS (g/l) dengan jumlah sludge yang diumpankan dalam 1 hari (l/d), kemudian hasil yang diperoleh dibagi dengan volume bioreaktor. Seperti terlihat pada gambar 7, kenaikan jumlah umpan bioreaktor yang dilakukan secara bertahap mulai dari 0,3 l/hari sampai dengan 2,0 l/hari hampir tidak mempengaruhi derajat keasaman (pH) dalam bioreaktor. Selama penelitian berlangsung, nilai pH tetap stabil disekitar 7. Dari sini dapat disimpulkan bahwa perubahan beban organik (*organic matter loading rate*) tidak mempengaruhi nilai pH dalam bioreaktor. Hal ini terjadi karena

sludge organik mengandung larutan penyangga (*buffer solution*) yang cukup kuat.

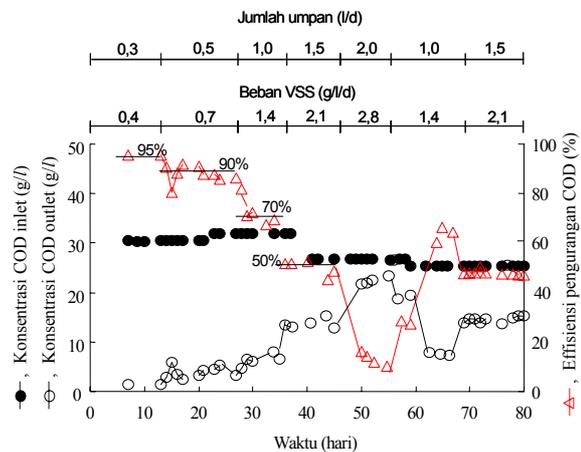
Produksi biogas pada saat menggunakan limbah sintesis cukup tinggi mencapai 4.000 ml/hari. Ini menandakan aktifitas mikroba yang digunakan cukup tinggi. Namun setelah umpan diganti dengan sludge jumlah produksi biogas menurun cukup signifikan. Kenaikan jumlah umpan hampir tidak menambah jumlah produksi biogas. Produksi biogas pada hari ke 6,13, 41, 55, 69, 76 lebih banyak dibandingkan pada hari-hari lainnya. Hal ini terjadi karena jumlah biogas pada titik-titik tersebut merupakan akumulasi produksi biogas selama 3 hari, yakni jumlah produksi biogas mulai dari hari Jumat sampai hari Minggu, karena hari Sabtu merupakan hari libur jadi pada hari tersebut tidak dilakukan aktifitas penelitian. Sedikitnya produksi biogas pada hari ke 29, 30, 58, 62 disebabkan karena pada hari-hari tersebut terjadi kerusakan pada pompa sirkulasi cairan dalam bioreaktor yang menyebabkan isi bioreaktor tidak teraduk, sehingga keaktifan mikroba menjadi menurun dan produksi biogas menjadi berkurang.

Produksi biogas per hari rata-rata hanya 300~800 ml atau 50~75 ml per gram VSS umpan. Angka ini sangat kecil bila dibanding produksi biogas pada pengolahan sludge limbah domestik yang mencapai 200 ml per gram VSS umpan. Hal ini diduga karena terjadi kebocoran pada gas holder sehingga sebagian gas tidak tertampung, disamping itu konsentrasi karbon dalam sludge IPAL PT. A juga lebih sedikit dibanding konsentrasi karbon dalam limbah domestik. Kandungan gas CH<sub>4</sub> didalam biogas cukup tinggi, berkisar antara 45-60%.

### 3.3.2 Pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi pengurangan COD

Pengaruh kenaikan jumlah umpan (beban organik) terhadap perubahan konsentrasi COD hasil olahan dan efisiensi pengurangan COD seperti terlihat pada gambar 8. Kenaikan jumlah umpan baru dilakukan setelah dicapai kondisi stabil pada beban umpan tersebut yang memerlukan waktu 10 sampai 15 hari. Penambahan jumlah sludge dilakukan secara bertahap sebesar 0,5 liter. Pada jumlah pengumpanan sludge 0,5 liter perhari atau pada beban VSS (VSS loading rate) 0,7 g/l/hari dengan waktu tinggal (HRT) 22 hari, diperoleh efisiensi

pengurangan COD (COD degradation efficiency) sebesar 90%. Efisiensi pengurangan COD masih dapat dipertahankan tinggi sekitar 70% pada jumlah umpan 1 l/hari. Penambahan jumlah umpan sampai 1,5 l/hari efisiensi pengurangan COD



Gambar 8. Pengaruh kenaikan jumlah umpan

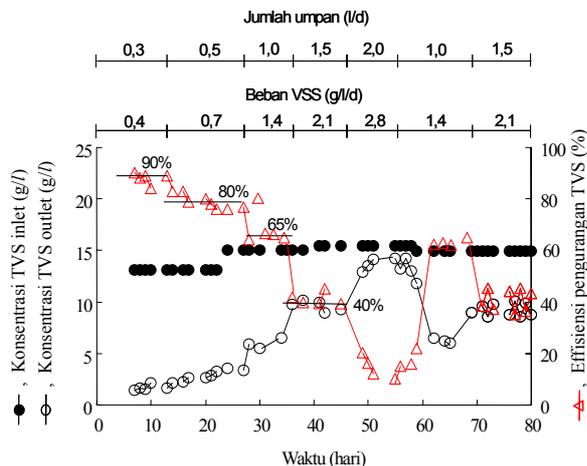
terhadap konsentrasi dan efisiensi pengurangan COD turun menjadi sekitar 50%. Pada beban ini, konsentrasi COD dalam sludge olahan sekitar 15 g/l. Selanjutnya dengan menaikkan jumlah umpan menjadi 2,0 l/hari, konsentrasi COD olahan naik secara drastis sehari setelah penambahan. Naiknya konsentrasi COD menyebabkan efisiensi pengurangan COD turun secara tajam. Pada hari ke 55, efisiensi pengurangan COD tinggal sekitar 15% dan angka ini cenderung terus turun sehingga kestabilan proses tidak dapat dipertahankan. Disini dapat disimpulkan bahwa terjadi kondisi "over load" dalam bioreaktor dimana mikroba tidak mampu lagi mengolah sludge yang masuk, sehingga efisiensi penguraian terus menurun. Pada hari ke 56 umpan bioreaktor diturunkan menjadi 1 l/hari dan setelah kualitas effluen kembali normal seperti kondisi semula, beban bioreaktor dinaikkan lagi menjadi 1,5 l/hari. Selama 10 hari lebih penelitian dilakukan pada beban 1,5 l/hari, ternyata efisiensi pengurangan COD tetap dapat dipertahankan sekitar 50%, sama besar dengan angka yang dicapai sebelumnya pada beban yang sama.

### 3.3.3 Pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi pengurangan total volatile solid (TVS)

Total volatile solid adalah jumlah seluruh bahan-bahan organik yang ada

dalam limbah, meliputi bahan organik dalam padatan dan dalam cairan limbah. Pada pengolahan biologi anaerobik, bahan-bahan organik inilah yang akan diuraikan menjadi biogas melalui reaksi biokimia oleh mikroba anaerobik.

Gambar 9 adalah pengaruh penambahan jumlah umpan terhadap perubahan konsentrasi TVS dalam sludge olahan dan efisiensi pengurangan TVS selama penelitian berlangsung. Bertambahnya jumlah umpan bioreaktor menyebabkan konsentrasi TVS hasil olahan meningkat sehingga efisiensi pengolahan menjadi berkurang. Efisiensi pengurangan TVS masih dapat dipertahankan stabil sampai jumlah umpan 1,5 l/hari. Kenaikan volume umpan menjadi 2 l/hari menyebabkan efisiensi pengurangan TVS terus menerus turun. Hal ini diduga karena terjadi kondisi



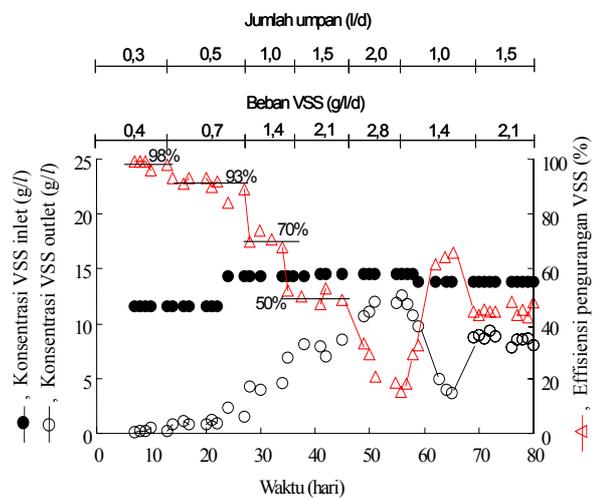
Gambar 9. Pengaruh kenaikan jumlah umpan terhadap konsentrasi dan efisiensi pengurangan TVS *over load* didalam bioreaktor yang menyebabkan kinerja mikroba menurun drastis. Setelah umpan bioreaktor diturunkan menjadi 1 l/hari, seperti lihat pada gambar 8, konsentrasi TVS sludge olahan kembali membaik dan efisiensi pengolahan juga naik. Pada hari ke 70 umpan bioreaktor dinaikkan lagi menjadi 1,5 l/hari. Pada beban ini efisiensi pengurangan TVS dapat kembali dipertahankan sekitar 40%, sama seperti kondisi sebelumnya pada beban yang sama.

Dari gambar 9 diatas terlihat, pada jumlah pengumpanan sludge 1 l/hari (waktu tinggal 11 hari) efisiensi pengurangan TVS adalah sekitar 65%, apabila dinaikkan menjadi 1,5 l/hari (waktu tinggal 7,3 hari) effisiensinya turun menjadi sekitar 40%.

### 3.3.4 Pengaruh perubahan beban terhadap efisiensi pengurangan volatile suspended solid (VSS)

Volatile suspended solid (VSS) adalah material-material organik yang terdapat dalam padatan yang tidak larut atau dalam suspended solid (SS). Parameter ini sangat penting, karena tujuan utama dari pengolahan sludge adalah untuk mengetahui seberapa banyak padatan khususnya padatan organik (VSS) dalam sludge yang dapat diuraikan oleh mikroba anaerobik.

Gambar 10 menunjukkan pengaruh perubahan beban bioreaktor terhadap konsentrasi VSS dalam sludge hasil olahan



Gambar 10. Pengaruh kenaikan jumlah umpan terhadap konsentrasi dan efisiensi pengurangan VSS serta efisiensi pengurangan VSS. Seperti halnya COD dan TVS, kenaikan jumlah umpan bioreaktor juga menyebabkan efisiensi pengurangan VSS menurun. Kenaikkan jumlah umpan sampai 1,5 l/hari menyebabkan efisiensi pengurangan VSS turun sampai 50%.

### 3.3.4 Efisiensi pengolahan sludge tiap-tiap beban yang diteliti pada kondisi stabil

Tabel 3 adalah rangkuman hasil penelitian yakni efisiensi pengolahan sludge yang meliputi *chemical oxygen demand* (COD), *total volatile solid* (TVS), *volatile suspended solid* (VSS) pada tiap beban yang diteliti dalam kondisi stabil. Jumlah umpan 0,3, 0,5, 1,0 dan 1,5 l/hari bila dikonversi menjadi besaran beban organik dalam padatan (*VSS loading rate*) maka

angka-angka diatas menjadi setara dengan 0,4; 0,7; 1,4 dan 2,1 g/l/hari.

Dari Tabel 3 diatas terlihat, kenaikan jumlah umpan akan menurunkan efisiensi pengolahan sludge. Dari sini diketahui efisiensi pengurangan masing-masing parameter pada beban maksimum VSS yang bisa dicapai yakni 2,1 g/l/hari adalah hampir sama yaitu sekitar 50%. Angka ini lebih besar dari studi yang pernah dilakukan Ikkal dkk<sup>9,10</sup> dalam mengolah sludge limbah domestik, dimana efisiensi pengurangan VSS maksimal yang bisa diperoleh hanya sekitar 45% pada beban VSS yang sama.

Tabel 3. Effisiensi pengolahan sludge pada tiap beban umpan dalam kondisi stabil

Flow rate  Beban VSS	Effisiensi pengurangan (%)		
	COD	TVS	VSS
0,3 l/hari	95	90	98
0,4 g/l/hari			
0,5 l/hari	90	80	93
0,7 g/l/hari			
1,0 l/hari	70	65	70
1,4 g/l/hari			
1,5 l/hari	50	40	50
2.1 g/l/hari			

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengolahan sludge campuran IPAL PT. A dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sludge campuran dari IPAL biologis dapat diolah dengan efektif menggunakan proses biologi anaerobik.
2. Beban organik maksimal yang bisa dicapai 2,1 g/l/hari dengan waktu tinggal sludge dalam bioreaktor 7,3 hari.
3. Effisiensi penguraian organik dalam sludge (*VSS degradation efficiency*) sangat tinggi, masing-masing sebesar 98, 93, 70 dan 50% pada masing-masing beban organik 0,4; 0,7; 1,4 dan 2,1 g/l/hari.
4. Produksi biogas relatif sedikit. Hal ini disebabkan karena kandungan bahan organik dalam sludge kecil (sekitar 50%), disamping itu diduga terjadi kebocoran pada gas holder sehingga sebagian biogas yang diproduksi tidak tertampung.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Bitton, Gabriel. : Wastewater Microbiologi, 13, 229, Anaerobic digestion of wastewater and sludge, Wiley-Liss Inc. (1994).
2. Beppu, T. and Anazawa, H. : Studies on methane fermentation at high temperature, Tokyo University, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.
3. Metcalf and Eddy, Inc. : Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill, Inc.(1979)
4. Nagai, S., and Nishio, M. : Biological aspects of anaerobic digestion. Handbook of Heat and Mass Transfer, **3**, 702-704, Catalysis, Kinetics and Reactor Engineering, Gulf Publishing Co. (1989).
5. Ikkal, Tang, Y., Fujimura, Y., Shigematsu, T., Morimura, S., and Kida, K.: The affecting factors for optimization of mesophilic aceticlastic methanogenesis. J. Water Treatment Biology, **39**, 189-197 (2003).
6. Sonoda, Y., Kida, K., and Nagai, S. : Conventional anaerobic digestion. Handbook of Heat and Mass Transfer, **3**, 753-772, Catalysis, Kinetics and Reactor Engineering, Gulf Publishing Co. (1989).
7. Kida, K., Morimura, S., Sonoda, Y., Obe, M., and Kondo, T.: Support media for microbial adhesion in an anaerobic fluidized-bed reactor. J. Ferment. Bioeng. **69**, 354~359 (1990).
8. Kida. K., Ikkal, Sonoda, Y., Kawase, and Nomura, T.: Influent of mineral nutrients on high performance during anaerobic treatment of waste water from beer brewery. J. Ferment. Bioeng. **72**, 54~57 (1991).
9. Kida. K., and Ikkal.: Treatment of sewage sludge by two-series digestion with liquefaction of thickened surplus sludge. J. Water Environment (Mizu Kankyou Gakkaishi), **18**, 215-221 (1995).
10. Ikkal, Morimura, S., Shigematsu, T and K. Kida.: Bacterial population and degradation of sludge components in a modified two-series digestion process including sludge liquefaction. J. Water Treat. Biol., **38**, 193-201 (2002).