

STUDI PENURUNAN BOD, COD, DAN PHOSPHAT LIMBAH CAIR DOMESTIK MENGGUNAKAN REAKTOR UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET

REDUCTION STUDY ON BOD, COD, AND PHOSPHATE DOMESTIC WASTE USING UASB REACTOR

Syafrudin¹⁾, Ganjar Samudro, dan Nur Syarafina

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Kampus Tembalang, Semarang
Email:¹⁾udin_syaf@yahoo.com

Abstrak: Penelitian skala pilot dilakukan untuk mengetahui pengaruh debit dan pengaruh konsentrasi terhadap kinerja Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reaktor dalam pengolahan air limbah dari air keruh dalam negeri. Pengaruh debit dan konsentrasi dilihat dari nilai parameter penurunan efisiensi BOD, COD, dan Fosfat. Dalam studi ini, debit yang digunakan adalah 2,5 L / jam, 1,67 L / jam, dan 1,25 L / jam. Penentuan konsentrasi berdasarkan karakteristik greywater air limbah rumah tangga di daerah slume Gabahan, Kecamatan Tengah Semarang. Pada berbagai konsentrasi, kondisi pengolahan optimum yang diperoleh dalam reaktor dengan parameter konsentrasi besar untuk pengurangan efisiensi BOD dan COD (1.440 mg / l COD dan 667,80 mg / l BOD) dengan rata-rata penurunan 84,15% untuk BOD dan 76,32% untuk COD. Efisiensi yang optimal pengurangan fosfat dalam kondisi reaktor dengan konsentrasi yang (0,3843 mg / l) dengan nilai rata-rata mengalami penurunan 72,58%. Kondisi optimum diperoleh pada variasi kecepatan aliran 1,25 L / jam untuk semua parameter penurunan efisiensi dengan nilai rata-rata mengalami penurunan 83,32% untuk BOD, COD 73,31% untuk dan 71,24% untuk fosfat. Kesimpulan akhir adalah nilai-nilai optimum untuk OLR (organic loading rate) dari 8,71 kg Greywater adalah COD / m³.day dengan kondisi optimum untuk reaktor UASB yang terjadi pada tertinggi debit 2,5 L / jam, dengan konsentrasi tertinggi 1440mg / l COD, pada 4 jam HRT, dengan upflow kecepatan 0.051 m / jam, dan suhu 35 ° C.

Kata kunci: air limbah rumah tangga, greywater, pengaruh debit, pengaruh konsentrasi, dan UASB.

Abstract: Pilot scale studies conducted to determine the effect of flowrate and the influence of concentration on the performance of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor in wastewater treatment of domestic greywater. Effect of flowrate and concentration seen from the value of the parameters the efficiency decrease in BOD, COD, and Phosphate. In this study, the flowrate used was 2,5 L/hour, 1,67 L/hour, and 1,25 L/hour. Determination of concentration based on the characteristics of domestic wastewater greywater on slume Gabahan Village area, Central District of Semarang. On varying the concentration, the optimum processing conditions obtained in the reactor with a large concentration parameter for the efficiency reduction of BOD and COD (1440 mg / l COD and 667,80 mg / l BOD) with an average reduction of 84,15% for BOD and 76,32% for COD. Optimum efficiency of phosphate reduction in reactor conditions with the concentration being (0,3843 mg / l) with a average value decreased 72,58%. Optimum conditions obtained on the variation of flowrate 1,25 L/hour for all the parameters the efficiency decrease with the average value decreased 83,32% for BOD, 73,31% for COD and 71,24% for phosphate. The final conclusion is the optimum values for OLR (organic loading rate) of Greywater is 8,71 kg COD/m³.day with optimum condition for reactor UASB is occurred at the highest flowrate 2,5 L/hour, the highest concentration 1440mg/l COD, at the 4 hours HRT, with upflow velocity 0,051 m/hour, and temperature 35°C.

Keywords: domestic wastewater, greywater, the influence of flowrate, the influence of concentration, and UASB.

PENDAHULUAN

Menurut Kep.Men. LH No. 112 Tahun 2003 air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran,

perniagaan, apartemen dan asrama. Air limbah rumah domestik dapat dibagi dalam dua kategori yaitu, air limbah dari kaskus atau WC yang diistilahkan sebagai air buangan tinja atau “ *black water* “ dan air limbah rumah tangga bekas mandi, cuci dan air limbah dapur non kakus (*grey water*). Dua kategori ini memiliki kandungan yang berbeda sehingga membutuhkan pengolahan dengan instalasi terpisah.

Bagian dari *greywater* adalah sekitar 75% dari total volume limbah cair domestik (Hansen & Kjellerup (1994), dikutip dari Eriksson et al (2002). Menurut hasil uji karakteristik *grey water* Kelurahan Gabahan, limbah *grey water* mengandung BOD sebesar 125,60 – 673 mg/L, COD sebesar 330,75 – 1400 mg/L, dan PO₄ sebesar 0,5 – 0,766 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa kandungan BOD, COD dan Phosphat dalam air limbah *greywater* cukup tinggi. Hal ini jika tidak diolah dengan baik dapat menurunkan kualitas air permukaan. Pengurangan konsentrasi phosphat yang tinggi sangat diperlukan untuk menghindari tumbuhnya alga yang berlebihan pada badan air penerima. Alga yang berlebihan mengakibatkan konsentrasi oksigen terlarut menurun sehingga kondisi badan air menjadi anaerobik dan menimbulkan bau. Menurut Tchobanoglous & Burton (2003), BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme pada oksidasi biokimia terhadap zat organik. Semakin tinggi BOD maka semakin banyak kandungan zat organik. COD merupakan salah satu parameter kunci untuk pendeteksian tingkat pencemaran air. Semakin tinggi COD semakin buruk kualitas air yang ada (Alaerts dan Santika, 1984). Namun sebagian besar masyarakat di Indonesia hanya melakukan pengolahan *black water* dengan menggunakan tangki septik di setiap perumahan sedangkan limbah *grey water* hanya dialirkan ke saluran drainase kemudian mengalir ke badan air.

Oleh karena itu dibutuhkan proses pengolahan limbah *grey water* yang tepat untuk menurunkan kandungan-kandungan tersebut agar tidak mencemari lingkungan. Salah satu proses pengolahan limbah *grey water* dengan menggunakan reaktor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) karena reaktor mempunyai kemampuan mengolah air limbah dengan beban organik tinggi dan toleran terhadap beban kejut (*shock loading*). Proses pengolahan UASB yaitu dengan mengalirkan influent air limbah dari bagian bawah menuju ke atas dengan melewati *sludge blanket*. *Sludge* digunakan untuk mendegradasi bahan organik dalam air buangan.

Guna mengetahui penurunan BOD, COD dan Phosphat menggunakan reaktor UASB dilakukan variasi konsentrasi, debit dan waktu detensi. Selain itu, dapat diketahui nilai optimum dari BOD, COD dan Phosphat berdasarkan variasi konsentrasi, debit dan waktu detensi. Dengan demikian, limbah *grey water* dapat diolah dengan baik sehingga diharapkan pencemaran lingkungan tidak terjadi karena kualitas limbah *grey water* yang masuk ke badan air penerima telah memenuhi baku mutu yang berlaku.

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan BOD, COD dan Phosphat dari variasi konsentrasi dan debit yang berasal dari limbah *grey water* terhadap kinerja reaktor UASB, untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi dan debit dalam penurunan BOD, COD dan Phosphat pada pengolahan limbah *grey water* menggunakan reaktor UASB dan untuk menetapkan kondisi optimal konsentrasi dan debit pada pengolahan *grey water* dengan UASB.

METODE

Bahan

Pada penelitian ini, terdapat beberapa macam bahan yang harus dipersiapkan yaitu bahan pembuatan *sludge blanket* dan limbah *artificial*.

Bahan pembuatan *sludge blanket* berupa lumpur pada dasar bak sedimentasi PT. Kimia Farma dan air. Lumpur tersebut dilakukan pengkondisian terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Pada penelitian ini, ditiap reaktor UASB dimasukkan lumpur sebanyak 3,5 liter kemudian ditambahkan air secukupnya (± 5 liter). Penambahan air pada pembuatan *sludge blanket* ini karena kondisi lumpur yang sangat kental.

Bahan pembuatan influent air limbah yang digunakan untuk penelitian adalah tapioka dan larutan standar phosphat 50 ppm. Larutan standar phosphat 50 ppm berfungsi sebagai pencemar PO₄, sedangkan tapioka berfungsi sebagai pencemar BOD, dan COD. Untuk mendapatkan variasi

konsentrasi yang diinginkan dilakukan cara *trial* dan *error*. Langkah-langkah pembuatan larutan standar phosphat 50 ppm adalah sebagai berikut:

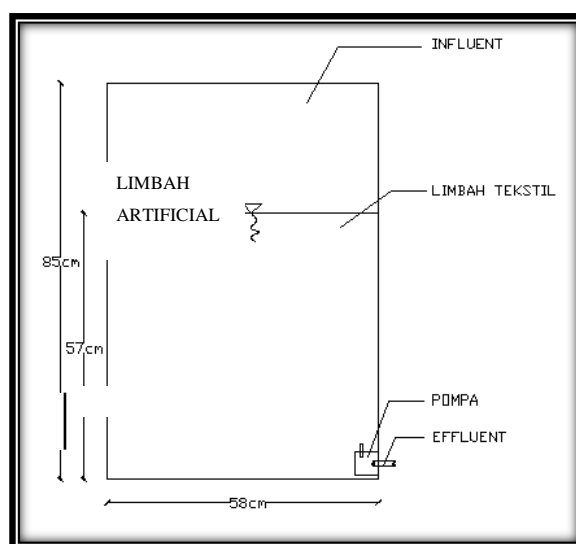
1. Siapkan KH_2PO_4 padat, kemudian timbang KH_2PO_4 padat sebanyak 0,2195 gr.
2. Larutkan ke dalam 1 liter air dengan labu ukur hingga batas tera.

Alat

Persiapan alat dalam penelitian ini meliputi bak influent dan model pengolahan biologi reaktor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

Bak yang digunakan untuk menampung influent berbentuk tabung, menggunakan drum sebesar 200 L dengan diameter 58 cm dan tinggi 85 cm. Air limbah dalam bak penampung mempunyai volume 150 liter dengan tinggi permukaan air limbah sebesar 57 cm. Bak penampung ini juga dilengkapi dengan stop kran yang berfungsi untuk mengatur debit yang keluar pada reaktor UASB.

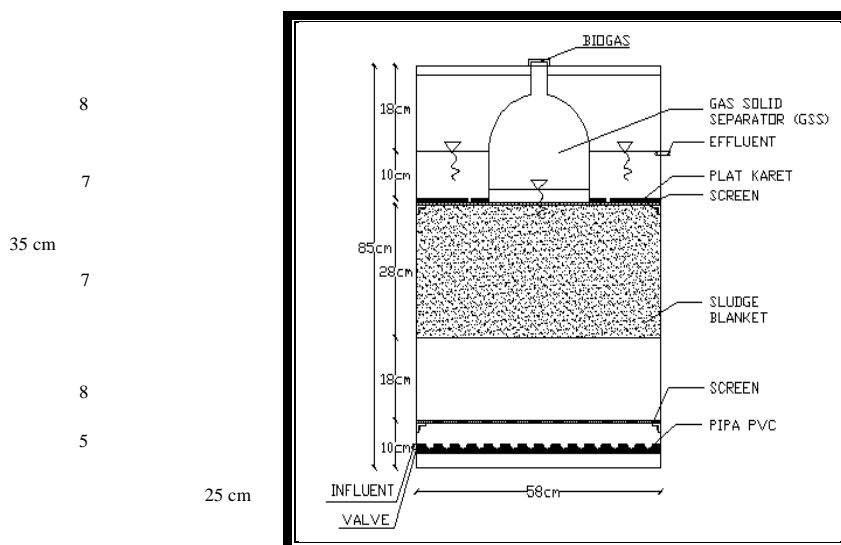
Reaktor UASB yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk tabung dengan dimensi diameter 25 cm dan tinggi 35 cm dengan volume lumpur 35% dari volume limbah. Dilengkapi dengan tangki penampung influen (drum) yang bervolume 200 liter.



Gambar 1. Skematik Bak Penampung

Langkah-langkah pembuatan reaktor UASB, sebagai berikut:

1. Siapkan galon berukuran 17 liter dan lubangi bagian bawah samping kiri galon untuk lubang influent, kemudian pasang *reducer* pada lubang bawah dan lubangi bagian atas samping kanan galon untuk lubang effluent.
2. Pasang selang di bagian bawah drum dan lubangi selang itu tiap 2 cm agar aliran *upflow* dan *sludge blanket* tidak mengendap tetapi membentuk granular sehingga tidak menyumbat lubang influent.
3. Pasang saringan berukuran kecil (30 mesh/inch) untuk mencegah agar pada saat *sludge* ada yang mengendap, tidak langsung menutupi lubang pada selang.
4. Masukkan air sampai setinggi saringan dan masukkan bahan pembuatan *sludge blanket* berupa lumpur aktif, kemudian aduk merata.
5. Pasang saringan berukuran besar (6 mesh/inch) diatas lapisan *sludge blanket*.
6. Pasang plat karet yang dilubangi tengahnya dan botol air mineral ukuran 1,5 L yang sudah dipotong bagian bawahnya.
7. Tutup reaktor dan lubangi tengahnya sebesar ukuran tutup botol air mineral.



Gambar 2. Skematik Reaktor UASB.

Maka, kecepatan *upflow* dalam reaktor UASB ini, adalah:

$$V_{up2} = \frac{Q}{A} = \frac{0,0016}{0,049} = 0,033m / jam$$

$$V_{up1} = \frac{Q}{A} = \frac{0,0025}{0,049} = 0,051m / jam$$

$$V_{up3} = \frac{Q}{A} = \frac{0,00125}{0,049} = 0,025m / jam$$

Turbulensi aliran di dalam reaktor juga perlu diketahui untuk memastikan bahwa turbulensi aliran telah sesuai dengan nilai bilangan reynold yang dipersyaratkan agar proses dapat berjalan dengan maksimal.

a. Reaktor dengan debit 2,5 L/jam

Viskositas kinematis untuk suhu 35°C = $0,719 \times 10^{-6}$

$$N_{Re} = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{0,0000141m / dt \times 0,25m}{0,719 \times 10^{-6}} = 4,903$$

b. Reaktor dengan debit 1,67 L/jam

$$N_{Re} = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{0,0000094m / dt \times 0,25m}{0,719 \times 10^{-6}} = 3,268$$

c. Reaktor dengan debit 1,25 L/jam

$$N_{Re} = \frac{V \times D}{\nu} = \frac{0,0000071m / dt \times 0,25m}{0,719 \times 10^{-6}} = 2,469$$

Prosedur Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan kegiatan yaitu, tahap *seeding*, tahap aklimatisasi, dan tahap pelaksanaan penelitian. Tahap *seeding* dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme anaerob. Pada penelitian ini, *seeding* dilakukan dengan sistem *batch* dengan menggunakan lumpur pada dasar bak sedimentasi PT. Kimia Farma dengan sedikit air dan kultur bakteri anerobic yang didapat dari septic tank.

Mikroorganisme ini memerlukan nutrient yang berupa C, N, dan P agar berkembangbiak dengan baik. Pemberian tambahan karbon dari glukosa, nitrogen dari urea dan fosfat dari SP-36 diberikan tiap tiga hari sekali. Nutrien yang diberikan dengan perbandingan C: N: P yaitu 350: 7: 1. Besar nutrient yang diberikan yaitu:

1. Glukosa (*dextrose*) sebanyak 8 gr,
2. Urea sebanyak 0,27 gr, dan
3. Phosphat (SP-36) sebanyak 0,0394 gr.

Jika dalam tahap *seeding* telah terbentuk lapisan biofilm yang menyelimuti lapisan atas reaktor, menimbulkan bau yang menyengat dan menunjukkan penurunan COD yang cukup besar dan stabil maka bisa dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu aklimatisasi.

Tahap aklimatisasi adalah mengkondisikan mikroorganisme agar dapat hidup dan melakukan adaptasi. Dalam penelitian ini aklimatisasi dilakukan pada UASB. Pengadaptasian dilakukan dengan cara membuat limbah *artificial* dari nilai COD yang terkecil. Akhir dari tahap aklimatisasi adalah ketika efisiensi penurunan konsentrasi COD yang cukup tinggi dan stabil.

Pada tahap pelaksanaan penelitian reaktor anaerob yang digunakan mempunyai kapasitas sebesar 10 liter. Satu siklus *running* memakan waktu 4, 6, dan 8 jam. Volume lumpur didesain sekitar 35% dari total volume reaktor UASB. Kemudian dilakukan *running* dan pengambilan sampel. Pengambilan sampel ini dilakukan ketika kondisi reaktor telah stabil. Penentuan kondisi tunak dilakukan dengan mengukur kandungan COD pada setiap reaktor dan mengamatinya sampai terlihat nilai penurunan konsentrasi COD stabil.

Tabel 1. Tahapan Proses Aklimatisasi.

Variasi Konsentrasi COD	Tahapan	COD air limbah pada saat aklimatisasi
520 mg/l	Tahap I = 25% x 520 mg/l	130 mg/l
	Tahap II = 50% x 520 mg/l	260 mg/l
	Tahap III = 75% x 520 mg/l	390 mg/l
	Tahap IV = 100% x 520 mg/l	520 mg/l
986,67 mg/l	Tahap I = 25% x 520 mg/l	246,67 mg/l
	Tahap II = 50% x 520 mg/l	493,33 mg/l
	Tahap III = 75% x 520 mg/l	740 mg/l
	Tahap IV = 100% x 520 mg/l	986,67 mg/l
1440 mg/l	Tahap I = 25% x 520 mg/l	360 mg/l
	Tahap II = 50% x 520 mg/l	720 mg/l
	Tahap III = 75% x 520 mg/l	1080 mg/l
	Tahap IV = 100% x 520 mg/l	1440 mg/l

PEMBAHASAN

Tahap *Seeding* (Pembenihan)

Berdasarkan pengamatan secara fisik, pada awal proses yaitu pengamatan setelah tujuh hari, reaktor UASB sudah membentuk lapisan biofilm dan menimbulkan bau yang menyengat. Hal ini menunjukkan bahwa proses awal pertumbuhan mikroorganisme dan pembentukan lapisan biofilm pada media membutuhkan waktu, yang dikenal dengan proses pematangan (Herlambang, 2002). Pembiakkan atau *seeding* dihentikan setelah penurunan COD stabil dan mencapai efisiensi yang cukup tinggi. Mikroorganisme tersebut sangat membantu menguraikan senyawa organik yang ada di

dalam air limbah. Dengan berkembangbiaknya mikroorganismenya, maka proses penguraian senyawa polutan yang ada dalam air limbah menjadi lebih cepat.

Pada hari ke-5, efisiensi penyisihan COD sudah menunjukkan penurunan yang cukup baik yaitu berkisar antara 14 - 60% pada reactor UASB dengan rata – rata 41,31%. Pada hari ke-7 hingga hari ke-38, penurunan COD tidak mengalami peningkatan yang signifikan, yaitu berkisar antara 50-69%. Namun, pada hari ke-40 penurunan COD mengalami peningkatan hingga 74-76%. Hal ini terjadi karena pada hari ke-38 dilakukan penambahan kultur bakteri anaerob yang berasal dari tangki septik. Adanya bau menyengat, gelembung pada permukaan reaktor menunjukkan perkembangan yang cukup baik dalam tahapan *seeding* ini. Setelah *seeding* berjalan selama 42 hari, lapisan biofilm mulai terlihat menebal dan efisiensi penurunan COD sudah mulai tinggi, yaitu mencapai 76-78% pada hari ke-42. Kondisi harus dijaga agar kondisi ini stabil.



Gambar 3. *Sludge Blanket* Pada Hasil Pengamatan setelah 5 Minggu.

Tahap Pembuatan Limbah *Artificial*

Pada penelitian ini, limbah *artificial* dari *Grey Water* Kelurahan Gabahan, Kecamatan Semarang Tengah menggunakan campuran tapioka dan larutan standar fosfat 50 ppm.

Tabel 2. Komposisi Limbah *Artificial* dan Nilainya

Variasi Konsentrasi	Tapioka (gr/liter)	Larutan standar fosfat 50 ppm (liter/liter)
Konsentrasi kecil	0,52	0,012
Konsentrasi sedang	1,1	0,024
Konsentrasi besar	1,69	0,036

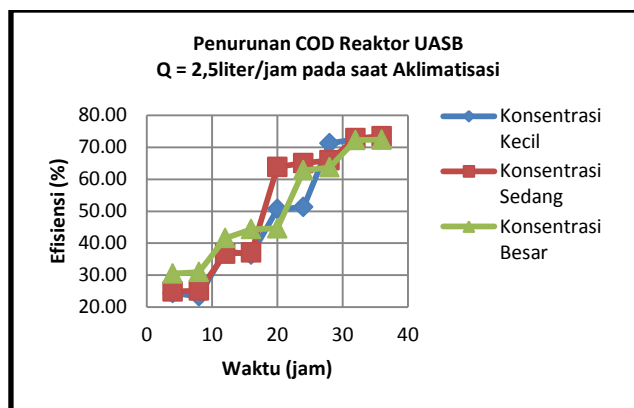
Dalam penelitian ini dilakukan tiga variasi debit dan tiga variasi konsentrasi cemaran. Untuk proses aklimatisasi, dilakukan pembuatan 12 konsentrasi *artificial* yang berbeda, dimana untuk masing-masing variasi konsentrasi dibuat 25%, 50%, 75%, dan 100% dari konsentrasi limbah aslinya. Sedangkan pada tahap *running* hanya menggunakan variasi konsentrasi 100%.

Tabel 3. Karakteristik Limbah *Artificial*.

Variasi Konsentrasi	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)
Konsentrasi kecil	520	197.72	0.2795
Konsentrasi sedang	986.67	375.16	0.3843
Konsentrasi besar	1440	547.53	0.4454

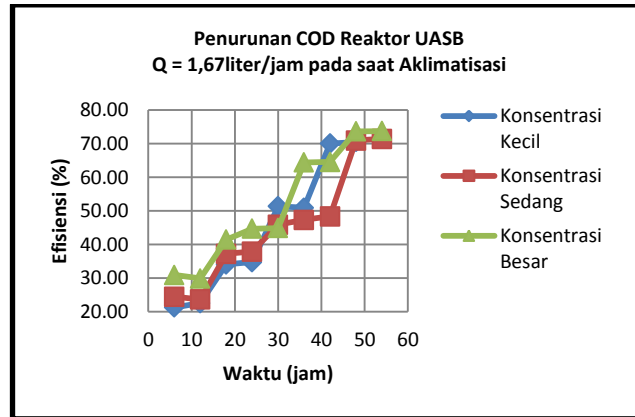
Tahap Aklimatisasi

Titik akhir aklimatisasi dicapai ketika efisiensi penghilangan COD telah stabil. Pada masa aklimatisasi, pH relatif stabil, nilai DO mendekati 0, dan efisiensi bahan organik makin lama makin meningkat. Hasil pengukuran DO pada awal tahap aklimatisasi berkisar antara 1 – 1,5 dan pada tahap akhir aklimatisasi berkisar antara 0 – 0,5. Bakteri melakukan penyesuaian diri terhadap pH dan temperatur, dimana hasil pengukuran pH menunjukkan nilai ± 7 . Sedangkan hasil pengukuran temperatur adalah 26-35°C. Menurut Tchobanoglous *et al.* (2003), bakteri dapat hidup dan berkembang biak optimal pada pH 6,5–7,5 dan suhu 25-35°C. Efisiensi dari reaktor UASB pada tahap aklimatisasi ini berkisar antara 70% - 73%. Setelah efisiensi pengolahan anaerob stabil dan menunjukkan penurunan yang cukup tinggi, dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu tahap *running*. Hasil proses aklimatisasi pada lengkap dapat dilihat pada grafik dibawah ini:

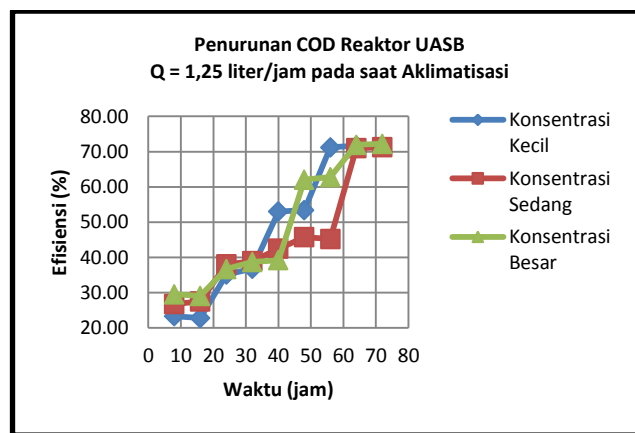


(a) Reaktor UASB dengan Q = 2,5 liter/jam

Berdasarkan hasil penelitian belum terlihat adanya pengaruh yang besar terhadap variasi konsentrasi dan debit pada hasil pengolahan. Namun, pada debit 2,5 liter/jam pencapaian kondisi stabil dan optimum efisiensi penurunan COD terjadi lebih cepat jika dibandingkan dengan debit 1,67 liter/jam dan 1,25 liter/jam. Hal ini karena semakin besar debit maka kecepatan *upflow* akan meningkat sehingga air limbah lebih cepat berkontraksi dengan *sludge blanket*. Semakin besar debit maka mikroorganisme akan mendapatkan suplay substrat yang lebih banyak daripada debit yang kecil sehingga menyebabkan aktivitas bakteri meningkat lebih cepat dibandingkan dengan reaktor yang debitnya lebih kecil sehingga dapat diambil kesimpulan waktu 4 jam sudah cukup bagi bakteri untuk menguraikan zat organik. Pendapat ini dapat dihubungkan dengan fakta bahwa waktu detensi lebih dari 6 jam akan menurunkan konsentrasi substrat fermentative (Yu *et al.*, 2000). Namun, jika debit dalam kondisi terlalu besar maka dikhawatirkan banyak *sludge* yang akan ikut lolos dan keluar bersama efluent sehingga menyebabkan volume *sludge* di dalam reaktor berkurang dan akhirnya performa reaktor menurun.



(b) Reaktor UASB dengan Q = 1,67 liter/jam

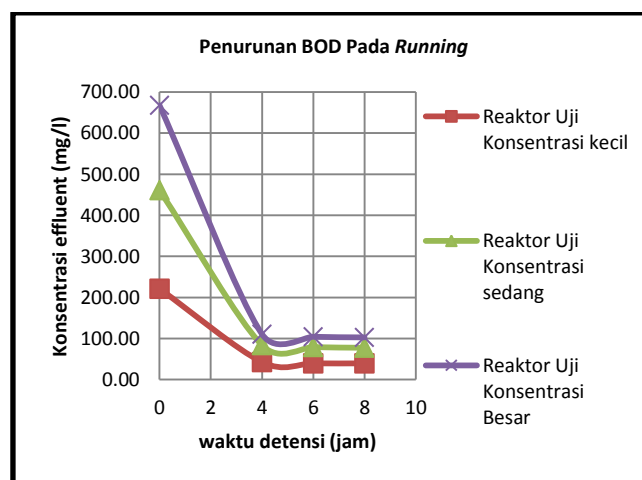


(c) Reaktor UASB dengan Q = 1,25 liter/jam

Gambar 4. Penurunan COD Pada Tahap Aklimatisasi

Penurunan Konsentrasi BOD

Berikut ini adalah performa reaktor dalam penyisihan BOD:



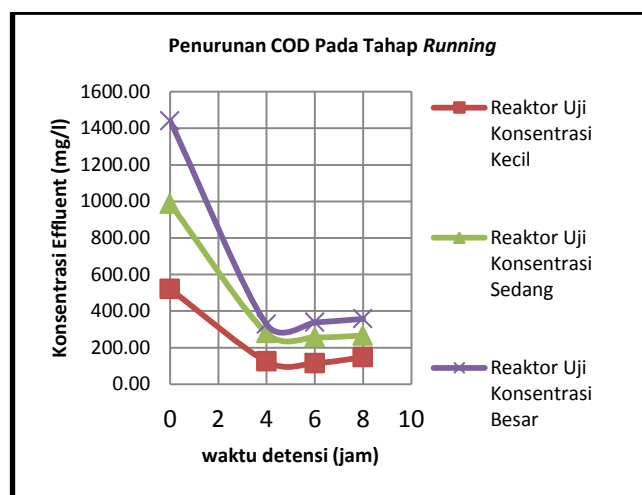
Gambar 5. Grafik Penurunan BOD Pada Tahap *Running*

Dari grafik diatas, nilai efisiensi penurunan BOD optimum dan stabil berdasarkan variasi konsentrasi dan debit adalah pada konsentrasi 667,80 mg/l dengan debit 0,00035 liter/detik rata-rata sebesar 84,62%. Efisiensi penyisihan COD biodegradable umumnya lebih dari 85 atau bahkan 90%. COD biodegradable kadang-kadang tercermin dalam BOD (www.uasb.org). Hal ini menandakan aktivitas bakteri akan semakin baik dengan jumlah *suplay* substrat yang semakin banyak karena akan mempengaruhi kerja enzim dalam bakteri untuk proses penguraian organik (Rahmi, 2010).

Berdasarkan gambar 5 di atas, efisiensi penurunan BOD terlihat stabil pada semua variasi debit. Hal ini dikarenakan peningkatan beban tidak begitu tinggi, sehingga lamanya waktu tinggal tidak begitu berpengaruh terhadap proses yang berlangsung karena tidak terjadi *organic shock loading* dan karena bakteri atau mikroorganisme telah cukup teradaptasi dalam periode waktu tertentu pada tahap aklimatisasi (Kristaufan, 2010). Namun, berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan debit optimum pada debit terkecil 1,25 liter/jam dengan waktu detensi paling lama 8 jam. Semakin lama waktu tinggal, maka nilai BOD akhir semakin turun karena semakin lama waktu tinggal akan memberi banyak kesempatan pada mikroorganisme untuk memecah bahan-bahan organik yang terkandung di dalam limbah.

Penurunan Konsentrasi COD

Berikut ini adalah performa reaktor dalam penyisihan COD:



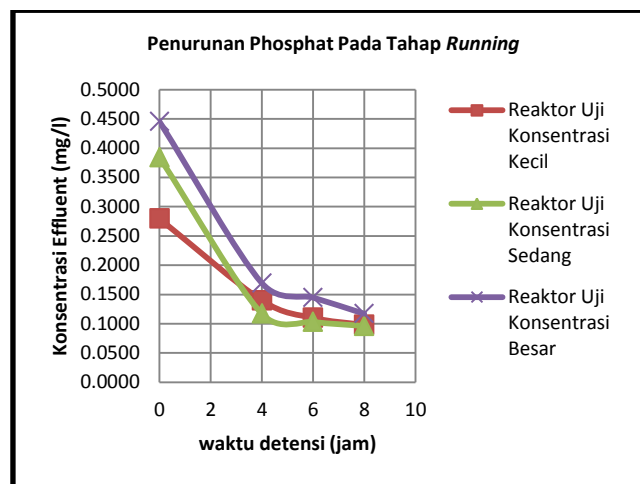
Gambar 6. Grafik Penurunan COD Pada Tahap *Running*

Berdasarkan grafik, nilai efisiensi penurunan COD optimum dan stabil berdasarkan variasi konsentrasi dan debit adalah pada konsentrasi 1440 mg/l dengan debit 0,00035 liter/detik rata-rata sebesar 75,16%. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Von Sperling, *et al* (2001) yaitu, efisiensi penurunan COD oleh UASB berkisar antara 69-84%. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi COD, maka semakin stabil proses berjalan dan semakin optimum efisiensi penurunan yang terjadi. Hal ini disebabkan semakin besar konsentrasi COD maka semakin banyak jumlah zat organik sehingga kemampuan bakteri untuk menangkap zat organik tersebut untuk proses degradasi juga lebih cepat (proses difusi).

Efisiensi penurunan COD sama halnya dengan efisiensi penurunan BOD yaitu, terlihat stabil pada semua variasi debit. Hal ini dikarenakan peningkatan beban tidak begitu tinggi, sehingga lamanya waktu tinggal tidak begitu berpengaruh terhadap proses yang berlangsung karena tidak terjadi *organic shock loading* dan karena bakteri atau mikroorganisme telah cukup teradaptasi dalam periode waktu tertentu pada tahap aklimatisasi (Kristaufan, 2010). Debit optimum pada debit terkecil 1,25 liter/jam dengan waktu detensi paling lama 8 jam. Semakin lama waktu tinggal, maka nilai COD akhir semakin turun karena semakin lama waktu tinggal akan memberi banyak kesempatan pada mikroorganisme untuk memecah bahan-bahan organik yang terkandung di dalam limbah.

Penurunan Konsentrasi Phosphat

Berikut ini adalah performa reaktor dalam penyisihan Phosphat:



Gambar 7. Grafik penurunan Phosphat pada tahap *Running*

Berdasarkan grafik, nilai efisiensi penurunan phosphat optimum dan stabil berdasarkan variasi konsentrasi dan debit adalah pada konsentrasi 0,3843 mg/l dengan debit 0,00035 liter/detik rata-rata sebesar 75,00%. Biomassa membutuhkan karbon, nitrogen dan phosphor untuk mensintesis sel baru, metabolisme dan menyisihan materi organik dalam proses pengolahan (Sundstrom dan Klei, 1979). Fosfat dibutuhkan oleh mikroba untuk pertumbuhannya dan disimpan intraselular sebagai polifosfat (Cahyana, 2006). Namun, air limbah harus diseimbangkan makanannya untuk memelihara pencernaan mikroorganisme. Perbandingan kebutuhan senyawa C, N dan P untuk pertumbuhan mikroba adalah 350: 7: 1 (Setiawan, 2008). Tchobanoglous (1991), bahwa efisiensi penyisihan phosphat menggunakan *secondary treatment* (pengolahan biologi) adalah 10-25%. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian dikarenakan konsentrasi phosphat yang lebih rendah dari rasio C: P. Pada kondisi anaerobik juga dimungkinkan terjadinya presipitasi dengan bantuan mikroba. Presipitasi fosfat dan pembuangannya dari limbah cair terjadi karena aktivitas microbial dalam reaktor. Pada tahap awal reaktor, aktivitas mikrobial menyebabkan pH turun, yang melarutkan komponen fosfat. Pada akhir reaktor, terjadi peningkatan pH yang menyebabkan presipitasi fosfat dan penggabungan komponen fosfat ke dalam lumpur. Presipitasi fosfat dengan bantuan mikrobial ini juga terjadi dalam biofilm pada proses denitrifikasi (Bitton, 1994).

Variasi terhadap debit menunjukkan adanya pengaruh terhadap efisiensi penurunan phosphat. Hal ini terlihat dengan semakin kecil debit maka efisiensi penurunan phosphat semakin optimal. Semakin kecil debit dapat diartikan dengan semakin lamanya waktu tinggal air limbah dalam reaktor. Semakin lama waktu tinggal, maka konsentrasi effluen phosphat semakin turun karena semakin lama waktu tinggal akan memberi banyak kesempatan pada mikroorganisme untuk mendegradasi bahan-bahan organik dan nutrient yang terkandung di dalam limbah.

Hubungan Antara Efisiensi Penurunan BOD, COD, dan Phosphat

Berdasarkan hasil penelitian, nilai efisiensi penurunan BOD, COD, dan Phosphat menghasilkan nilai yang berbeda. Nilai efisiensi penurunan BOD merupakan nilai efisiensi paling tinggi dibandingkan nilai efisiensi COD dan Phosphat. Penyisihan nutrient, dalam hal ini fosfat hanya terbatas pada kebutuhan bakteri untuk pertumbuhannya. Biomassa membutuhkan karbon, nitrogen dan phosphor untuk mensintesis sel baru, metabolisme dan menyisihan materi organik dalam proses pengolahan (Sundstrom dan Klei, 1979). Perbandingan kebutuhan senyawa C, N dan P untuk pertumbuhan mikroba adalah 350: 7: 1 (Setiawan, 2008). Dengan demikian, tampak jelas bahwa penyisihan P dalam pengolahan biologi kecil dibandingkan dengan penyisihan C. Tchobanoglous (2003) menyatakan pengaruh nilai efisiensi penurunan BOD lebih tinggi daripada nilai efisiensi penurunan COD antara lain:

1. zat organik banyak yang sulit untuk mengoksidasi biologis, seperti lignin hanya dapat dioksidasi secara kimiawi,
2. zat anorganik yang dioksidasi oleh dikromat meningkatkan sampel kandungan organik,
3. zat organik tertentu dapat menjadi racun bagi mikroorganisme yang digunakan dalam tes BOD,
4. nilai COD yang tinggi dapat terjadi karena adanya zat anorganik dengan dikromat yang dapat bereaksi.

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa efisiensi rerata BOD dan COD dan Phosphat untuk variasi konsentrasi pada proses pengolahan biologi dengan UASB yang diterapkan dalam penelitian ini yang paling optimum adalah konsentrasi besar, yaitu 667,80 mg/l untuk BOD dan 1440 mg/l untuk COD sedangkan konsentrasi sedang yaitu 0,3848 mg/l untuk Phosphat. Pada variasi debit nilai optimum yaitu untuk BOD, COD, dan Phosphat pada debit kecil 1,25 L/jam.

Kondisi Optimum Reaktor

Berdasarkan penelitian skala laboratorium yang telah dilakukan, dengan volume total reaktor sebesar 10 L, diperoleh kondisi optimum pada debit paling rendah yaitu 1,25 liter/jam, konsentrasi paling tinggi 1440 mg/l COD, dengan waktu detensi selama 8 jam, suhu operasi 30 – 35⁰C, kecepatan upflow 0,0255 m/jam, dan *organic loading rate* sebesar 4,35 kg COD/m³/hari. Namun karena selisih nilai efisiensi penurunan yang sangat kecil antar variasi debit dan konsentrasi pada parameter cemaran organik dan nilai effluent parameter phosphat yang secara keseluruhan telah memenuhi baku mutu, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi pengolahan optimum diperoleh pada debit paling tinggi yaitu 2,5 liter/jam, konsentrasi paling tinggi 1440 mg/l COD, dengan waktu detensi selama 4 jam, suhu operasi 30 – 35⁰C, kecepatan upflow 0,051 m/jam, dan *organic loading rate* sebesar 8,71 kg COD/m³/hari. Selisih efisiensi penurunan yang kecil dan semakin besar debit maka waktu pengolahan dapat dipersingkat sehingga akan diperoleh kapasitas pengolahan yang lebih besar.

Koefisien Penurunan Cemaran

Nilai koefisien ini nantinya akan berguna untuk mendesain reactor UASB untuk air limbah domestik *greywater*. Koefisien penurunan bahan pencemar menggunakan laju reaksi pada orde satu. Hal ini karena efisiensi penurunan dipengaruhi oleh waktu. Nilai negatif pada koefisien menunjukkan penurunan terhadap konsentrasi pencemar. Dari grafik regresi dapat diketahui bahwa konsentrasi pencemar yang dikehendaki dapat direncanakan dengan menggunakan nilai waktu tinggal dan konsentrasi influent.

Tabel 4. Nilai Kinetika Penyisihan.

Parameter	Konsentrasi (mg/L)	Nilai K
BOD	221,10	0,22
	461,10	0,23
	667,80	0,24
COD	520	0,17
	986,67	0,17
	1440	0,18
Phosphat	0,2795	0,12
	0,3843	0,17
	0,4454	0,16

Nilai konstanta penurunan phosphat pada reaktor sedang lebih besar karena efisiensi penurunan phosphat optimum pada reaktor konsentrasi sedang (0,3843 mg PO₄/liter). Namun, Kinetika penyisihan ini kurang tepat jika menggunakan nilai ini, seharusnya untuk pengolahan biologi penentuan nilai k dapat diketahui dari persamaan monod.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai penurunan cemaran yang diperoleh pada variasi debit 1,25 L/jam untuk semua efisiensi penurunan parameter. Pada variasi konsentrasi kondisi optimum pengolahan diperoleh pada reaktor konsentrasi sedang (0,3843 mg/l PO₄) untuk efisiensi penurunan phosphat dan pada reaktor konsentrasi besar (1440 mg/l COD dan 667,80 mg/l BOD) untuk efisiensi penurunan BOD, COD. Pada variasi konsentrasi, semakin besar nilai efisiensi penurunan parameter menandakan aktivitas bakteri akan semakin baik dengan jumlah *suplay* substrat yang optimum karena akan mempengaruhi kerja enzim dalam bakteri untuk proses penguraian organik. Namun, air limbah harus diseimbangkan makanannya (Rasio C:N:P) untuk memelihara pencernaan mikroorganismenya. Sedangkan pada variasi debit, semakin lama waktu tinggal, maka nilai parameter akhir semakin turun karena semakin lama waktu tinggal akan memberi banyak kesempatan pada mikroorganismenya untuk mendegradasi bahan-bahan yang terkandung di dalam limbah. Berdasarkan hasil penelitian skala laboratorium, kondisi optimum pengolahan dengan UASB yang dapat ditetapkan yaitu dengan volume total reaktor sebesar 10 L, diperoleh kondisi optimum pada debit paling rendah yaitu 2,5 L/jam, konsentrasi paling tinggi 1440 mg/l COD, dengan waktu detensi selama 4 jam, suhu operasi 30 – 35⁰C, kecepatan upflow 0,051 m/jam, dan *organic loading rate* sebesar 8,71 kg COD/m³/hari.

Saran

1. Perlu dilakukannya pengkajian mengenai bibit bakteri yang tepat pada awal tahap *seeding* agar diperoleh efisiensi penurunan yang lebih tinggi.
2. Perlu dilakukannya pengkajian terhadap produksi gas metan pada pengolahan *Greywater* menggunakan UASB yang tidak dilakukan dalam penelitian ini.
3. Perlu dilakukannya pengkajian terhadap kemampuan UASB dalam mengolah air limbah *greywater* dengan konsentrasi phosphat yang lebih besar dari rasio C: P yang diperbolehkan.
4. Pada pengaplikasian skala lapangan yang perlu diperhatikan adalah penentuan waktu detensi, debit dan konsentrasi influent yang kemudian akan digunakan dalam menentukan dimensi pengaplikasian. Serta juga penentuan kecepatan *upflow*, *organic loading rate* dan SRT yang sesuai dengan kriteria desain.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G., Santika dan Sri Sumestri. Metode Penelitian Air. Usaha Nasional: Surabaya, 1984
- Cahyana, I Gede.. Olah Fosfat dengan Sequencing Batch Reactor. <http://gedehace.blogspot.com/2006/09/olah-fosfat-dengan-sequencing-batch.html>, 2006
- Eriksson, et.al. Characteristics of Grey Wastewater. Urban Water, 2002, 85-104.
- Gabriel Bitton,. Wastewater Microbiology. A John Wiley & Sons, Inc. 1994: New York.
- Herlambang et al., Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. BPPT: 2002. Jakarta Pusat.
- Kristaufan J.P. Pengolahan Air Limbah Industri Kertas Karton dengan Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) dan Lumpur Aktif. Berita Selulosa, 45 (1) 2010: 22 – 31.
- Setiawan, Yusup. Peningkatan Efektivitas Pengolahan Air Limbah Proses Pemutihan Pulp dengan reaktor UASB dan Lumpur Aktif Termobilisasi. Berita Selulosa, 43 (2) 2008: 74 – 82.
- Sundstrom. Donald W, Herbert E. Klei. Waste Water Treatment. Prentice Hall Inc. United States of America. 1979.
- Tchobanoglous, George. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. 3th ed. McGraw-Hill Int. Ed. Singapore. 1991.
- Tchobanoglous, George and Franklin L. Burton. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. 4th ed. McGraw-Hill Book Co.: 2003.
- Von Sperling, M., et al. Performance evaluation of a UASB – activated sludge system treating municipal wastewater, Water Science and Technology Vol 43, 2001.

