

**STUDI PENGARUH VARIASI DEBIT TERHADAP PENURUNAN
KONSENTRASI BOD,COD, dan TSS LIMBAH CAIR
DOMESTIK BLACK WATER MENGGUNAKAN REAKTOR UASB
(Studi Kasus: Kelurahan Gabahan, Semarang)**

**Syafrudin, Sudarno, Widayanto Kurniawan Eko Yendi Atmaja
Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang 2012**

Abstract

Domestic wastewater from toilets is termed as fecal wastewater or "black water" with a high organic content. Domestic wastewater black water in Indonesia is still largely done by processing flows into the septic tank. UASB reactor has the ability to treat wastewater with high organic load and tolerant of shock loads. Therefore we need the existence of a study on the effectiveness of treatment of domestic wastewater using UASB. Characteristics of domestic wastewater from the black water test results in the Gabahan Village, Semarang has value 3000 mg COD / l, BOD 1218 mg / l, TSS 1800 mg / l, temperature of 27.03 ° C, and pH 7.13. UASB reactor in this study using a continuous system.

Keywords: Black Water, UASB reactor, continuous system

PENDAHULUAN

Air limbah merupakan suatu air hasil sisa pengolahan atau hasil buangan industri, namun juga dihasilkan dari kegiatan rumah tangga atau biasa disebut sebagai limbah cair domestik. Air limbah rumah tangga (*Domestic*) dapat dibagi dalam dua kategori. Pertama adalah air limbah dari kaskus atau WC yang diistilahkan sebagai air buangan tinja atau "black water" dengan kandungan organik tinggi. Kategori air limbah rumah tangga kedua adalah air limbah rumah tangga bekas mandi, cuci dan air limbah dapur non kakus (*grey water*) selain terdapat kandungan organik yang cukup tinggi dan biasanya juga tercampur dengan deterjen bekas air cucian. Biasanya, dua kategori air limbah ini diolah menggunakan instalasi yang terpisah. Air limbah non kakus tidak dapat

dialirkan ke dalam tangki septik, oleh karena kandungan deterjen akan dapat membunuh bakteri pengurai yang dibutuhkan dalam proses pembusukan.

Kelurahan Gabahan merupakan pemukiman padat penduduk. Limbah *black water* yang dihasilkan masih belum memenuhi baku mutu atau nilai konsentrasi air limbah tinggi. Belum tersedianya pengolahan limbah yang efektif dan efisien untuk mengolah limbah domestik *black water*. Nilai konsentrasi COD limbah *black water* kelurahan Gabahan berkisar antara 2300 – 3000 mg/L. Menurut Henze, 2001, limbah domestik *black water* memiliki range konsentrasi COD 900 sampai 1.500 mg/L. Sehingga diperlukan pengolahan yang tepat untuk

menyisihkan nilai konsentrasi limbah cair domestik tersebut agar memenuhi standart baku mutu air limbah.

Proses pengolahan air limbah dapat dilakukan melalui tiga cara yaitu pengolahan secara fisik, kimia, dan biologi. Sedangkan untuk pengolahan biologi memiliki dua prinsip pengolahan yaitu pengolahan secara anaerob yaitu tanpa melibatkan oksigen dan pengolahan secara aerob yaitu dengan melibatkan oksigen. Pengolahan air limbah secara anaerob merupakan sebuah metode yang banyak digunakan. Proses anaerob menghasilkan gas metana, CO₂, amonia, dan H₂S oleh aktivitas mikroorganisme anaerob. Pengolahan secara anaerob yang paling populer di dunia saat ini adalah *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) yang dikembangkan pada tahun 1970 (Lettinga, van Velsen, Hobma, de Zeeuw, & Klapwijk, 1980). UASB adalah suatu proses penurunan konsentrasi limbah dengan bantuan bakteri anaerob dalam keadaan anaerob serta dengan waktu yang telah ditetapkan. Pengolahan ini telah digunakan untuk pengolahan air limbah dari berbagai aplikasi industri seperti gula, makanan, penyulingan, minuman, rumah pemotongan hewan, susu, kimia, pulp dan kertas, petrokimia, dan farmasi, serta untuk pengolahan limbah domestik (Lettinga & Hulshoff Pol, 1991; Rajeshwari, Balakrishnan, Kansal, Lata, & Kishore, 2000). Oleh karena itu diperlukan adanya suatu penelitian tentang efektivitas pengolahan air limbah domestik menggunakan UASB.

Karakteristik limbah cair domestik antara lain TSS, BOD, COD, Nitrogen, Fosfor, Klorida, E. Coli dll (Tchobanoglous & Burton, 2003). Pada penelitian ini, parameter yang akan diteliti hanya BOD, COD dan TSS. BOD sebagai parameter organik merupakan substrat dalam pengolahan biologi. COD digunakan untuk mengukur materi pada limbah yang mengandung senyawa beracun untuk biotik. TSS adalah jumlah padatan yang tersuspensi di dalam sampel yang terlarut.

Tingginya konsentrasi BOD, COD dan TSS yang dihasilkan oleh limbah domestik akan menyebabkan masalah bagi lingkungan sehingga memerlukan pengolahan yang tepat.

Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan penelitian untuk menyisihkan BOD, COD serta TSS pada limbah domestik menggunakan reaktor UASB. Pada penelitian ini dilakukan variasi debit dan konsentrasi. Volume reaktor dan HRT menentukan nilai debit. Menurut Azimi Zamanzadeh (2004), HRT optimum antara 2 – 10 jam. Sehingga dengan menghitung volume dan HRT akan di dapatkan nilai debit. Pada variasi konsentrasi influen bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimum reaktor UASB pada skala laboratorium untuk melakukan penyisihan BOD, COD dan TSS pada air limbah domestik *black water*.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahap Penelitian ini dimulai dari uji karakteristik limbah black water, perakitan reaktor, pembuatan limbah artificial dan pengaturan debit, aklimatisasi, dan running.

Uji Karakteristik Limbah Black Water

Dari hasil sampling di Kelurahan Gabahan, limbah black water memiliki karakteristik COD 3000 mg/l, BOD 1218 mg/l, TSS 1800 mg/l, suhu 27,03 °C, dan pH 7,18. Hasil uji karakteristik inilah yang dijadikan acuan untuk pembuatan limbah artificial black water.

Perakitan reaktor

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Reactor* berbentuk tabung yang berfungsi sebagai tangki anaerob.
2. Bak penampung, dibuat dari ember bekas yang berfungsi sebagai tempat larutan limbah yang kemudian dialirkan ke dalam reaktor dengan debit yang telah ditentukan.
3. Ember, berfungsi sebagai ekuivalensi yang diletakkan di antara bak penampung dan reaktor.

4. Pengaduk, untuk mengaduk limbah artificial pada bak penampung.
5. Aerator, untuk mengaduk limbah artificial pada ekualisasi.
6. Gelas ukur 10 mL, berfungsi untuk mengatur debit.
7. *Stopwatch*, berfungsi untuk mengatur debit.
8. Akuarium, sebagai penampung air olahan setelah keluar dari reaktor.
9. *Valve*, untuk mengecilkan/ membesarkan aliran atau menutup/ membuka selang pada tangki pengendap untuk mengatur laju resirkulasi lumpur.
10. Selang, penghubung antara tangki yang satu ke tangki berikutnya.
11. Lilin malam, untuk merekatkan agar tidak terjadi kebocoran pada alat yang digunakan.
12. Botol sampel, untuk menyimpan sampel yang dianalisa di laboratorium.
13. DO meter, alat pengukur DO (*Dissolve Oxygen*).
14. Termometer, alat pengukur temperatur.
15. pH meter, alat pengukur pH

Langkah-langkah pembuatan reaktor UASB, sebagai berikut :

1. Siapkan botol air mineral bekas berukuran 1,2 liter dan lubangi bagian bawah samping kiri botol untuk lubang influent, kemudian pasang *valve* pada lubang bawah.
2. Pasang selang di bagian bawah ember dan lubangi selang itu kira-kira tiap 1 cm agar aliran *upflow* dan *sludge blanket* tidak mengendap tetapi membentuk granular sehingga tidak menyumbat lubang influent.
3. Masukkan air sampai setinggi saringan dan masukan bahan pembuatan *sludge blanket* berupa lumpur aktif, kemudian aduk merata.
4. Lubangi reaktor di bagian atas yang berfungsi sebagai lubang effluent air limbah yang akan diuji konsentrasinya.
5. Pengaturan Debit

Volume reaktor 1,2 L dengan variasi debit berdasarkan lama waktu tinggal limbah dalam reaktor. Dalam penelitian ini, lama waktu tinggal yang akan diterapkan adalah 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Debit diukur untuk mendapatkan debit influent yang konstan. Jadi variasi debit yang kita dapat berdasarkan lama waktu tinggal yang kita rencanakan adalah :

$$Q_1 = 1,2 \text{ L} / 4 \text{ jam} = 0,3 \text{ L/jam}$$

$$Q_2 = 1,2 \text{ L} / 6 \text{ jam} = 0,2 \text{ L/jam}$$

$$Q_3 = 1,2 \text{ L} / 8 \text{ jam} = 0,15 \text{ L/jam}$$

Pembuatan Limbah Artificial

Limbah artificial dibuat dengan bahan dasar akuades, glukosa ($C_6H_{12}O_6$), dan kaolin ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$). Variasi konsentrasi yang dibuat berdasarkan hasil uji karakteristik limbah black water di kelurahan Gabahan. Variasi konsentrasi yang dibuat yaitu:

- Karakteristik 1
COD 2347 mg/l
BOD 1000 mg/l
TSS 1300 mg/l
- Karakteristik 2
COD 3000 mg/l
BOD 1218 mg/l
TSS 1800 mg/l
- Karakteristik 3
COD 3800 mg/l
BOD 1420 mg/l
TSS 2750 mg/l

Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah tahap mengkondisikan mikroorganisme agar dapat hidup dan melakukan adaptasi. Dalam aklimatisasi ini dilakukan dalam 2 tahap konsentrasi limbah, yaitu 50% dan 100%.

Variasi konsentrasi untuk tahapan aklimatisasi:

Konsentrasi COD 2347 mg/l

Tahap 50% 1173,5 mg/l

Tahap 100% 2347 mg/l

Konsentrasi COD 3000 mg/l

Tahap 50% 1500 mg/l

Tahap 100% 3000 mg/l

Konsentrasi COD 3800 mg/l

Tahap 50% 1900 mg/l

Tahap 100% 3800 mg/l

Running

Satu siklus *running* memakan waktu 4-8 jam. Setelah *running* dan pengambilan sampel untuk satu variasi selesai, kemudian dilakukan pengambilan sampel. Setiap satu variasi dilakukan dengan 6 kali *running* secara kontinyu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ada empat tahap kegiatan yang harus dilakukan pada penelitian ini. Tahap pertama adalah uji karakteristik limbah daerah penelitian. Tahap kedua yaitu pembuatan limbah artificial. Setelah pembuatan limbah artificial dengan konsentrasi yang sesuai, kemudian dilanjutkan ke tahap aklimatisasi. Setelah proses aklimatisasi selesai, tahap terakhir dari penelitian ini adalah tahap *Running*.

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
1	COD	mg/l	3.000	-
2	BOD	mg/l	1.218	100 mg/l (Kepmenlh 112 th.2003)
3	TSS	mg/l	1.800	100 mg/l (Kepmenlh 112 th.2003)
4	pH	-	7.13	6-9 (Kepmenlh 112 th.2003)
5	Suhu	°C	27,03	-
6	DO	mg/l	0,51	-

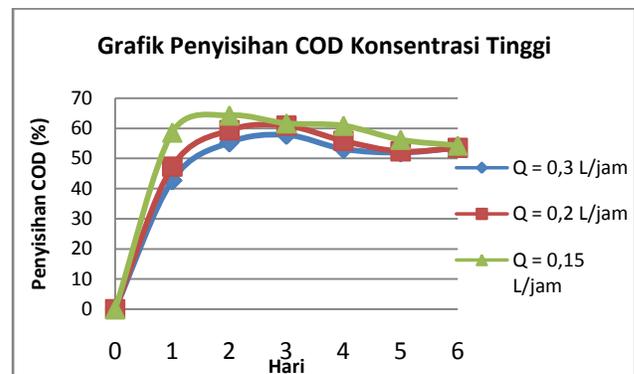
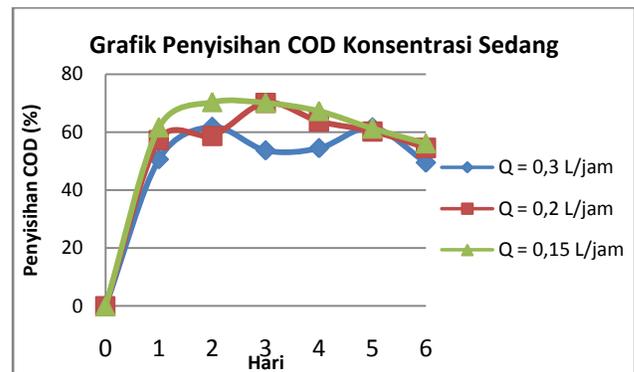
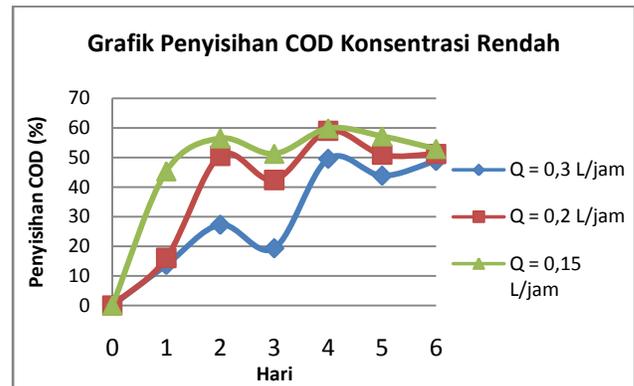
Tabel 1 Hasil Uji Karakteristik Black Water Desa Gabahan

Bahan-bahan yang dipakai dalam pembuatan limbah *artificial* antara lain adalah akuades, kaolin, dan glukosa. Dalam penelitian ini dilakukan 3 variasi debit dan 3 variasi konsentrasi cemaran. Untuk proses aklimatisasi, dilakukan pembuatan 9 konsentrasi *artificial* yang berbeda, dimana untuk masing-masing variasi konsentrasi dibuat 50% dan 100% dari konsentrasi limbah aslinya. Sedangkan pada tahap *running* hanya menggunakan variasi konsentrasi 100%.

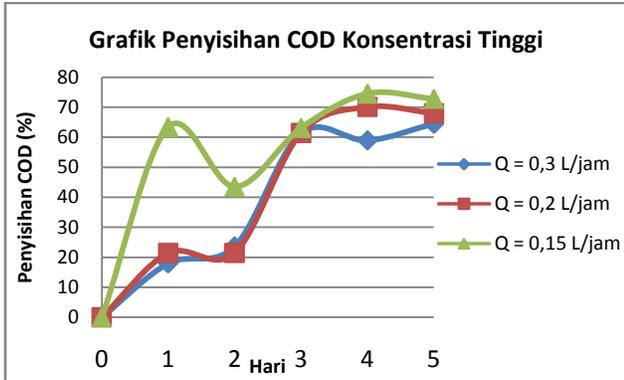
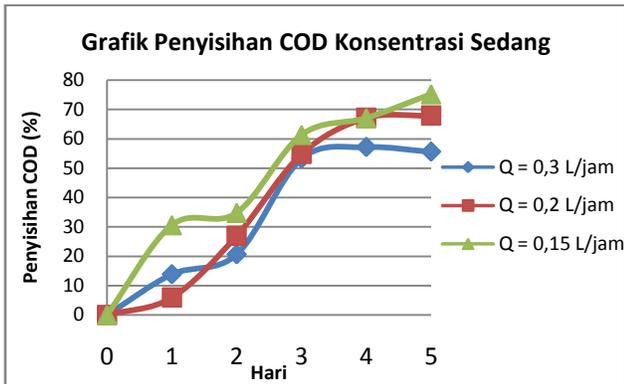
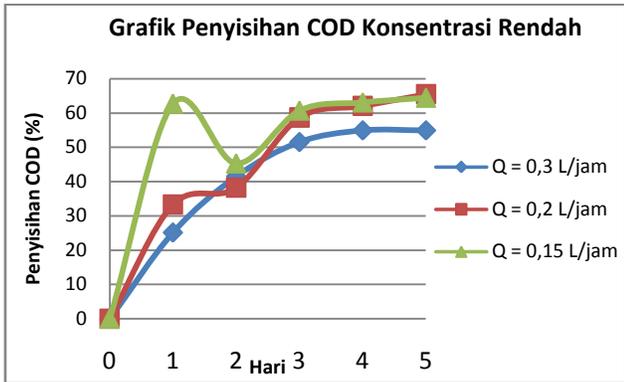
Nama Reaktor	Konsentrasi		
	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)
Konsentrasi Kecil	2347	1000	1300
Konsentrasi Sedang	3000	1218	1800
Konsentrasi Besar	3800	1420	2650

Tabel 2 Variasi Konsentrasi Parameter BOD, COD, dan TSS 100%

Hasil Aklimatisasi 50 %

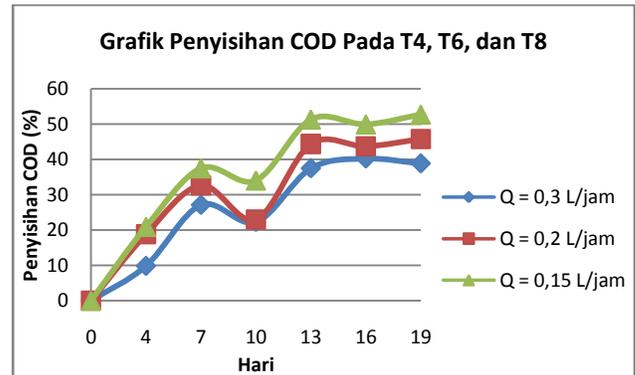
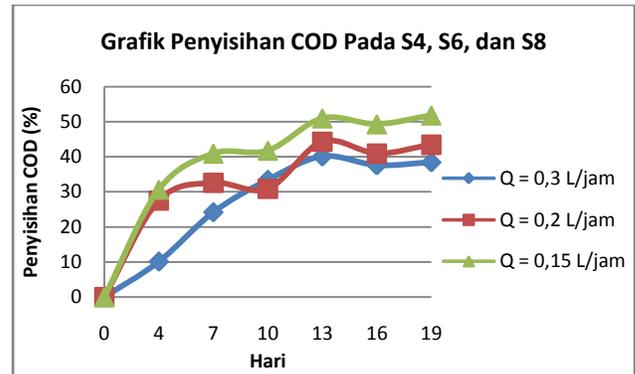
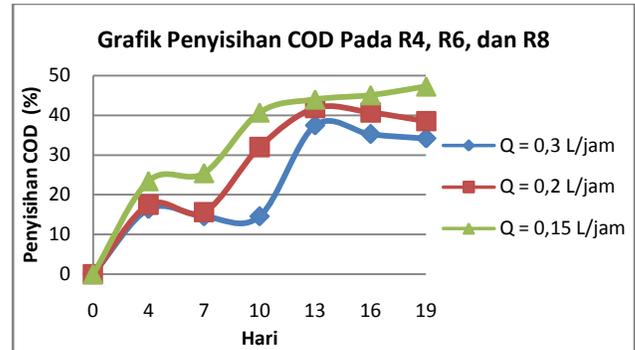


Hasil Aklimatisasi 100 %



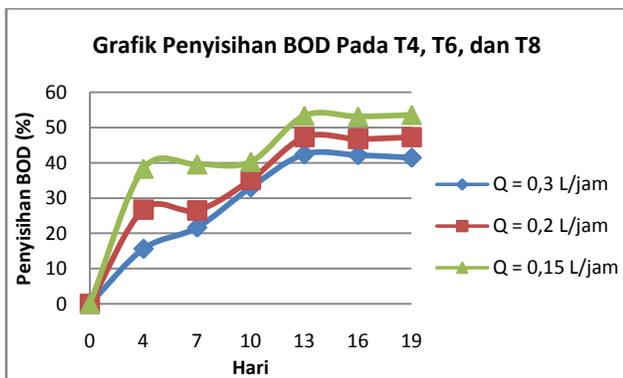
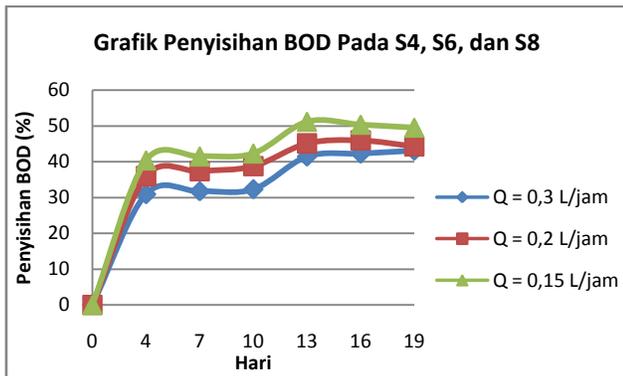
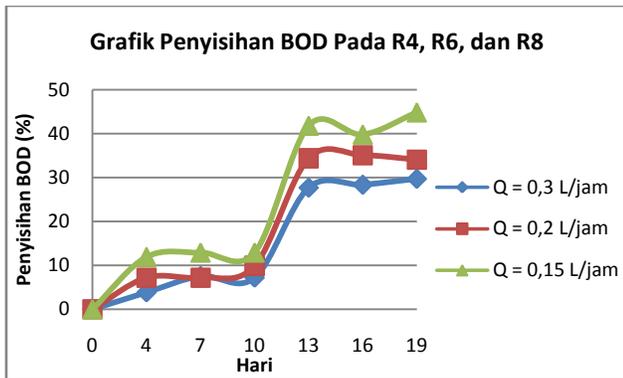
Running dilakukan sebanyak 3 kali dengan variasi debit dan konsentrasi. COD divariasikan pada konsentrasi COD 2347 mg/L, 3000 mg/L, dan 3800 mg/L) dan variasi debit sebesar 0,3 L/jam, 0,2 L/jam, 0,15 L/jam. Berdasarkan variasi debit, maka akan diperoleh waktu detensi dengan variasi masing-masing 4 jam, 6 jam, dan 8 jam.

Hasil COD Running

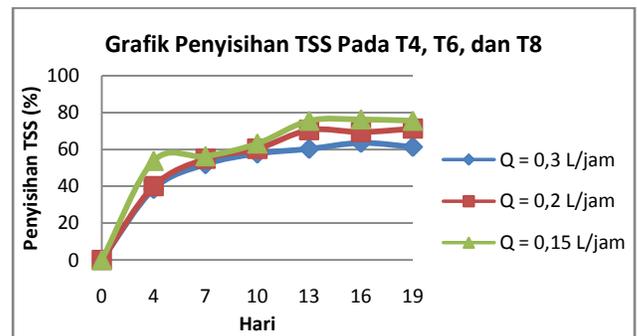
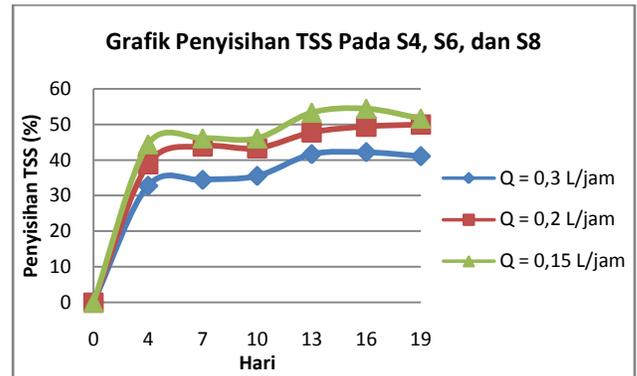
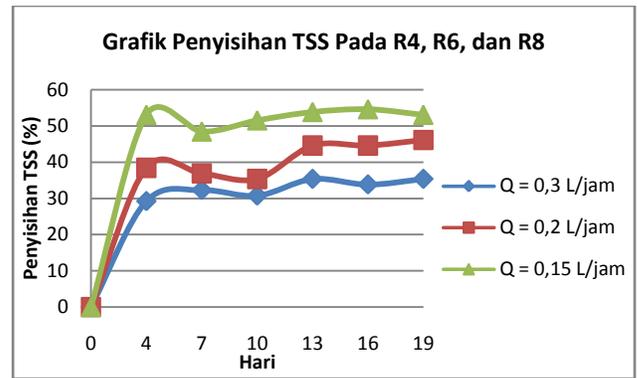


Pada tahap COD *running* dilakukan dengan 6 titik dan menunjukkan terjadi adanya peningkatan yang cukup signifikan yang berbeda di tiap 4jam, 6jam, dan 8jam. Semakin lama di dalam reaktor UASB, menunjukkan bahwa pengolahannya juga semakin kompleks, sehingga penurunannya jauh lebih baik.

Hasil BOD *Running*



Hasil TSS *Running*



Pada tahap BOD *running* menunjukkan terjadi adanya penurunan yang cukup signifikan yang berbeda di tiap 4jam, 6jam, dan 8jam. Dilakukan dengan 6 titik. BOD bersamaan dengan COD. Semakin lama di dalam reaktor UASB, menunjukkan bahwa pengolahannya juga semakin baik, sehingga penurunannya jauh lebih baik.

UASB ini diperuntukkan pengolahan biologis, namun TSS pada penelitian ini di sertakan. TSS *running* dilakukan dengan 6 titik dan menunjukkan terjadi adanya penurunan yang cukup signifikan yang berbeda di tiap 4jam, 6jam, dan 8jam. Semakin lama di dalam reaktor UASB, menunjukkan bahwa pengolahannya juga semakin kompleks, sehingga penurunannya jauh lebih baik.

Berdasarkan hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa untuk pengolahan UASB terhadap *Black Water* desa Gabahan masih memerlukan *treatment* tambahan.

Pengaruh Variasi Konsentrasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD optimum pada konsentrasi COD 3800 mg/L sebesar 52,7 %. Hal ini menunjukkan bahwa hasil dari penelitian ini belum sesuai dengan penelitian Ghangrekar dan Kahalekar (2002), reaktor UASB jika digunakan sebagai pengolahan sekunder tahap pertama mempunyai efisiensi removal COD sebesar 60-80%. Sedangkan apabila dilihat dari besarnya COD yang disisihkan maka penurunan COD paling besar pada konsentrasi 3800 mg/l. Hal ini sesuai dengan pendapat Shanmugam dan Akunna (2008) bahwa reaktor UASB mempunyai kemampuan mengolah air limbah dengan beban organik tinggi dan toleran terhadap beban kejut (*shock loading*).

Kondisi optimum penyisihan TSS dicapai pada konsentrasi maksimum yaitu pada konsentrasi 2650 mg/l TSS sebesar 76,4%. Dan jika dilihat dari besarnya TSS yang tersisihkan, maka penyisihan terbesar juga terjadi pada konsentrasi 2650 mg/l sebesar 2000 mg/l. Kedua kondisi tersebut terjadi pada konsentrasi tinggi. Peningkatan efisiensi reduksi TSS dan besarnya TSS yang disisihkan dapat dihubungkan dengan penurunan tingkat viskositas yang menyebabkan peningkatan kecepatan pengendapan, sesuai dengan pendapat Azimi and Zamanzadeh (2004).

Pengaruh Variasi Debit

Berdasarkan data di atas, nilai efisiensi reduksi COD semakin meningkat seiring dengan semakin lama waktu tinggal, dengan besar debit yang sama pada tiap-tiap variasi konsentrasi. Angka penurunan terbesar ditunjukkan pada debit 0,15 L/Jam yaitu dengan waktu tinggal 8 jam. Hal ini menunjukkan bahwa harus cukup lama untuk proses metabolisme oleh bakteri anaerobik dalam reaktor pengurai (Sterritt dan Lester, 1998), suhu air limbah pada saat itu 25°C, sesuai dengan penelitian

sebelumnya bahwa terjadi sedikit penambahan efisiensi pada waktu tinggal 6 jam dan 8 jam pada musim panas ($T=22-26^{\circ}\text{C}$) (Yu et al, 2000), oleh karena itu dapat dipertimbangkan sebagai waktu tinggal optimum untuk musim panas dan musim dingin. Azimi dan zamanzadeh (2004) menguatkan fakta bahwa reaktor UASB telah teruji efisien dan *sustainable*, terutama untuk daerah dengan iklim hangat menurut Claudia wendland (2008), seperti Indonesia.

Penyisihan BOD paling optimum terjadi pada debit 0,15 L/jam dengan waktu detensi 8 jam. Hal ini dapat terjadi karena proses seeding dan aklimatisasi yang dilakukan secara bersamaan dengan cara mengalirkan *influen* secara bertahap dan dilanjutkan pada dengan tahap *running*, sehingga seiring bertambahnya waktu tinggal juga terjadi pertumbuhan bakteri dari fase lag ke fase eksponensial, dimana bakteri mengalami penyesuaian pada lingkungan baru sampai mencapai populasi maksimum, yang ditandai dengan efisiensi penurunan pada debit 0,15 L/Jam berkisar 27,71 % - 53,58 %

Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa variasi debit kurang berpengaruh dalam penyisihan TSS. Efisiensi penyisihan TSS mengalami fluktuasi yang besar, dimungkinkan terjadinya penyumbatan pada lubang effluent oleh kaolin dan juga kaolin yang ikut menempel dengan lapisan biofilm dalam reaktor dan terjadi peningkatan di *sludge bed*, dan semakin meningkat dari waktu ke waktu. Menurut Sunny Aiyuk (2010) bahwa yang ditunjukkan dengan penampakan reaktor yang berwarna putih dari kaolin. Sehingga untuk mendapatkan hasil yang baik proses hidrolisis dan konversi anaerobik membutuhkan waktu tinggal yang lebih lama, itu menurut pendapat Sunny Aiyuk (2010).

Debit dan Konsentrasi Optimum

Kinerja reaktor UASB terhadap penurunan konsentrasi BOD, COD, dan TSS dalam penelitian ini

belum optimal karena efluen yang dihasilkan belum memenuhi baku mutu untuk air limbah domestik. Reaktor di desain dengan volume 1,2 L dengan volume lumpur = $1/3 \times$ volume reaktor. *Hydraulic retention time* atau waktu detensi dihitung dari variasi debit dan volum reaktor, berikut ini hasil dari perhitungannya :

- a. 0,3 L/jam dengan waktu detensi 4 jam
- b. 0,2 L/jam dengan waktu detensi 6 jam
- c. 0,15 L/jam dengan waktu detensi 8 jam

Berdasarkan perhitungan di atas, waktu detensi telah memenuhi kriteria desain yang sudah ada, yaitu 4-8 jam (Lettinga, 2002), 4-12 jam (Ir. Bowo D.M.). Karena volume reaktor yang sama, maka variasi debit juga secara langsung memberikan waktu detensi yang berbeda. Waktu detensi mempengaruhi lamanya proses di dalam reaktor berlangsung. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi polutan memiliki efisiensi paling tinggi dan stabil pada debit paling kecil yaitu 0,15 L/jam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama proses berlangsung maka semakin maksimal hasil yang diperoleh, meskipun pada kenyataannya hanya menunjukkan selisih angka penurunan yang sangat kecil.

Berdasarkan hasil analisis dari variasi debit dan konsentrasi, serta kondisi maksimum reaktor dengan volume total reaktor sebesar 1 L, efisiensi penurunan terbesar terjadi pada debit paling rendah yaitu 0,15 L/jam, konsentrasi paling tinggi 3800 mg/l COD, dengan waktu detensi selama 8 jam. Sedangkan kondisi pengolahan optimum diperoleh pada debit 0,2 L/jam, konsentrasi paling kecil 3000 mg/l COD, dengan waktu detensi selama 6 jam. Dengan alasan kecilnya selisih efisiensi penurunan, dan semakin besar debit maka waktu pengolahan dapat dipersingkat sehingga akan diperoleh kapasitas pengolahan yang lebih besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa :

1. Pada pengolahan ini, diperoleh nilai efisiensi penurunan untuk COD berkisar 37,4-52,7%, untuk BOD berkisar 29,7-53,6%, untuk TSS berkisar 35,4-76,4%,
2. Semakin tinggi konsentrasi air limbah, maka semakin besar pula efisiensi penurunan BOD, COD, dan TSS oleh UASB. Semakin besar HRT maka efisiensi penurunan BOD, COD, dan TSS akan semakin meningkat. Berdasarkan analisis kondisi optimum reaktor UASB diperoleh pada debit paling tinggi yaitu 0,15 L/jam, dan konsentrasi paling tinggi 3800 mg/l COD, dengan waktu detensi selama 8 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiyuk, Sunny, et. al. 2010. *Technical Problems Ensuing From UASB Reactor Application in Domestic Wastewater Treatment without Pre-Treatment*. International Journal of Environmental Science and Development.
- Aris, Lutfi. 2006. *Kontribusi Limbah cair domestic penduduk disekitar sunagi TUK terhadap kualitas air sungai kali garang serta upaya penanganannya*. Undiversitas Diponegoro.
- Azimi and Zamanzadeh. 2004. *Determination of Design Criteria for UASB Reaktor as a wastewater pretreatment System in Tropical Small Communities*. Int. J. Environ. Sci. Tech., Vol. 1 No. 1, 51 – 57.
- Darmasetiawan, Martin. 2001. *Teori dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air*. Yayasan Suryono. Bandung.
- Ghangrekar, M. M., Kahalekar, U. J. 2002. *Performance and Cost Efficacy of Two-Stage Anaerobic Sewage Treatment*. Department of Civil

Engineering, Government College of
Engineering, Aurangabad.

- Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G., 2001. *Decentralized Sanitation and Reuse - Concepts, Systems and Implementation*. IWA Publishing, UK.
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W. 1991. *UASB Process Design for Various Types of Wastewater*.
Water Sci. Technol. 24,8 (1991) 87-109.
- Lettinga, G. 2002. *Treatment of Domestic Sewage in a Low Step Anaerobic Filter/Anaerobic Hybrid System at Low Temperature*. Wat Res., 36, 2225 – 2232.
- Manurung, et al., 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob -Aerob*. USU : Sumatra Utara.
- Shanmugam, A. S., Akunna, J. C., 2008. *Comparing the performance of UASB and GRABBR treating low strength wastewaters*, Water Science & Technology—WST, 58.1, 2008.
- Sterritt, R. M dan Lester J. N, 1988. *Microbiology for Environmental and Public . Health Engineers*.
E & F. N. Spon Ltd : London.
- Sudradjat. 2008. *Mengolah Sampah Kota*. Penebar Swadaya : Bogor
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia press.
- Tchobanoglous, George and Franklin L. Burton. 2003. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. 4th ed. McGraw-Hill Book Co : Amerika
- Wendland, Claudia. 2008. *Anerobic Digestion of Blackwater andKitchen Refuse*. Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz. Hamburg.
- Woon B. H. 2007. *Removal of Nitrate Nitrogen in Conventional Wastewater Treatment Plants*. Thesis, Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.