



**RINGKASAN DISERTASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK TIPE  
GREYWATER MENGGUNAKAN REAKTOR  
UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET (UASB)**

**Oleh :  
Syafrudin  
L5K008014**

**Promotor:  
Prof.DR.Ir. Purwanto, DEA**

**Ko-Promotor:  
DR.Ing.Sudarno,ST,MSc**

**Program Doktor Ilmu Lingkungan  
Program Pasca Sarjana  
Universitas Diponegoro  
Semarang  
2014**



## **TIM PENGUJI UJIAN PROMOSI**

Ketua : Prof. DR. dr. Anies, M.Kes, PKK  
(Ketua/Penguji)

Sekretaris : Prof. DR. Ir. Purwanto, DEA  
(Sekretaris/Penguji)

Anggota :

1. Ir. Yuniati, MT, MSc, Ph.D (Penguji Eksternal)
2. DR. Ir. Budiyono, M.Si (Penguji)
3. Dr. Ony Setyani, Ph.D (Penguji)
4. Dr. Henna Rya Sunoko, Apt, MES (Penguji)
5. Prof. DR. Ir. Purwanto, DEA (Promotor)
6. DR. Ing Sudarno, ST, MSc

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas kemudahan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Disertasi yang berjudul “Pengolahan Air Limbah Domestik Tipe *Greywater* menggunakan Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB)”. Disertasi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Doktor Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan kapasitas hidrolis terhadap kinerja teknologi Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) guna mengolah air Limbah Domestik Tipe *Greywater* Kota Semarang.

Dalam kesempatan yang baik ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu proses penyelesaian disertasi ini pada khususnya dan selama menempuh pendidikan di Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro pada umumnya kepada :

- Prof. H. Sudharto Prawata Hadi, MES, Ph.D selaku Rektor Universitas yang telah memberikan ijin belajar dan bantuan fasilitas dalam menempuh pendidikan pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro;

- Prof. DR. dr. Anies, M.Kes, PKK, selaku Ketua Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro yang telah memberikan kesempatan dan semangat serta koreksi selama penyusunan disertasi ini;
- Ir. H. Bambang Pujianto, MT selaku Dekan Fakultas Teknik yang telah mengizinkan dan semangat serta selama penyusunan disertasi ini;
- Ir. Hj. Sri Eko Wahyuni, MS selaku mantan Dekan Fakultas Teknik yang telah mendorong untuk dapat menempuh pada Program Doktor Ilmu Lingkungan;
- Prof. DR. Ir. Purwanto, DEA selaku Promotor dan Ketua Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro yang telah membimbing, memberi petunjuk dan mengarahkan selama penelitian dan penyusunan disertasi ini;
- DR. Ing Sudarno, ST, MSc selaku Ko Promotor yang telah membimbing, memberi petunjuk dan mengarahkan selama penelitian dan penyusunan draft disertasi ini.
- DR. Ir. Budiyono, MT selaku Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan catatan tambahan selama penyusunan disertasi ini;
- Ir. Yuniati, MT, MSc, Ph.D selaku Penguji Eksternal yang juga banyak memberikan koreksi dan catatan tambahan selama penyusunan disertasi ini;

- dr. Ony Setiani, Ph.D selaku Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan catatan tambahan selama penyusunan disertasi ini;
- DR. Henna Rya Sunoko, Apt, MES selaku Sekretaris Program Doktor Ilmu Lingkungan yang banyak mengarahkan dan membetulkan terkait administrasi penyusunan disertasi ini;
- Dosen dan karyawan di lingkungan Program Studi Teknik Lingkungan Universitas yang telah memberikan arahan, bimbingan dan bantuan selama penelitian penyusunan disertasi ini berlangsung;
- Mahasiswa program sarjana S1 Teknik Lingkungan: Dita, Iin, Bonis, dan Dini yang secara bersama selama setahun banyak membantu melakukan penelitian tentang UASB bersama saya.
- Isteri saya tercinta Nomastuti Junita Dewi, SE, MM, anak-anak saya Nahdiar Rezky Marsya, ST, Milzam Auzan Aziman, Fityah Ghassani P, dan Mirza Dhiya Ulhaq yang memberikan dorongan untuk dapat menyelesaikan pendidikan pada program Doktor ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Ibunda tercinta Hj. Noor Rachmah Ibrahim, keluarga besar H. Abdul Latief Bakri, keluarga besar ayahanda mertua, Soenomo, ME dan keluarga besar ayahanda H.Taslim bin H.Maskuri (alm) dari istri saya Farida (almh) yang memberikan dorongan untuk dapat menyelesaikan pendidikan pada program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini jauh dari kesempurnaan namun harapan yang besar agar sumbangan pemikiran guna perbaikan dari naskah disertasi sangat diperlukan. Demikian pengantar disertasi ini disusun sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari tahapan penyelesaian Program Doktor Ilmu Lingkungan.

Semarang, 18 Februari 2014

SYAFRUDIN

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	1
<b>Kata Pengantar</b> .....	4
<b>Daftar Isi</b> .....	8
<b>Abstract</b> .....	9
<b>Abstrak</b> .....	11
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	13
1.1. Latar Belakang .....	13
1.2. Perumusan Masalah .....	17
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	20
1.4. Tujuan Penelitian .....	21
1.5. Manfaat Penelitian .....	22
<b>BAB II. METODE PENELITIAN</b> .....	23
<b>BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	25
3.1. Pengelolaan Air Limbah Kota Semarang .....	25
3.2. Kinerja Pengolahan Limbah <i>Artificial</i> .....	27
3.3. Model Kinetika Pengolahan Limbah <i>Artificial</i> .....	29
3.4. Kinerja Pengolahan <i>Greywater</i> Kota Semarang .....	44
3.5. Evaluasi Kinerja Pengolahan <i>Greywater</i> Kota Semarang dan Pengolahan Limbah <i>Artificial</i> .....	54
3.6. Produktifitas Biogas Akibat Penyisihan COD.....	57
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	58
4.1. Kesimpulan .....	58
4.2. Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	61



## ABSTRACT

*Semarang City dispose 94,06 % of their domestic greywater into drainage and 5,94 % of them into the ground. This violated Perda Jateng No 5 tahun 2012 about Wastewater Quality Standard because greywater contains 155-1400 mg COD/L and BOD 125-673 mg/L. The contribution of COD disposal is 0.98 to 8.80 g/person/day and BOD is 0.79 to 4.24 g/person/day.*

*Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) is an alternative process to treat greywater. Its working principle is distributing the wastewater in the reactor with upward direction of flow through the sludge blanket with specific hydraulic retention time (HRT). Laboratory scale research using artificial greywater was conducted in 64 days with 5 units of transparent fiber column-shaped UASB reactor with diameter of 10.16 cm and a height of 100 cm, and the outlet's height was 60 cm. Reactors were operated at variations concentration of 155 mg/L-1400 mg/L; HRT 4-12 hours; upflow ( $V_{up}$ ) 0.05 m/jam-0,15m/jam, and Hydraulic Loading Rate (HLR) 0.05 to 0.15.  $m^3/m^2/jam$ .*

*An optimum COD removal efficiency of 48.01 to 77.34% was obtained at 8 hours HRT with with influent COD of 827-867 mg/L. Based on Regression Models the largest BOD and COD removal efficiency were 72.35% and 74.43% thus were achieved at the load concentration 910 mg/L and 962.50 mg/L respectively.  $BOD_5$  elimination kinetics model resulted the degradation rate constant ( $k$ ) of 0.11/h for loads from 473.76 to 643.10 mg/L and COD removal*

*kinetics model resulted the degradation rate constant (k) of 0.10/h to 960 loads -1480 mg/L.*

*Research using greywater from domestic wastewater in Semarang at mean COD load of 603.03 mg/L (566.67 to 633.33 mg/L) resulted in the greatest efficiency of 70.84% (from 62.86 to 80.00%). Whereas the average BOD<sub>5</sub> load of 328.44, mg/L (299.78 to 341.57 mg/L) obtained an average efficiency of 69.25% (61.71 to 75.62%). At BOD<sub>5</sub> load of 297-312 mg/L, reactor resulted better efficiency on greywater in comparison to artificial greywater.*

*COD and BOD removal efficiency has significant relationship with hydraulic capacity (HRT, flowrate,  $V_{up}$ , HLR) and the influent concentration. Increasing of HRT decreased flowrate,  $V_{up}$  and HLR, however increasing removal efficiency and vice versa. Reactor performed better efficiency removal when applied with real greywater compared than artificial greywater. Biogas pontenty of those reactor was 1 mL/0.06 g/m<sup>3</sup> COD eliminated.*

*Based on these results, UASB reactor can be used as one solution to carry out the management and control of receiving water bodies. Further studies on UASB are needed to be implemented in order to obtain the height of the column for practical needs.*

**Keywords :** *Greywater, UASB, HLR,  $V_{up}$  and HRT*

## ABSTRAK

Penanganan air limbah *greywater* di kota Semarang sebanyak 94,06 % dibuang ke saluran drainase dan 5,94 % diresapkan ke dalam tanah. Hal ini melanggar Perda No 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah karena *greywater* memiliki kandungan COD 155-1400 mg/L dan BOD 125-673 mg/L. Kontribusi pembuangan COD sebesar 0,98-8,80 gram/orang/hari dan BOD 0,79 - 4,24 gram/orang/hari.

*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) adalah salah satu alternatif pengolahan *greywater*. Prinsip kerjanya adalah mendistribusikan air limbah dalam reaktor dengan arah aliran ke atas melalui *sludge blanket* dengan *hydraulic retention time* (HRT) tertentu. Penelitian skala laboratorium menggunakan *artificial greywater* dilakukan selama 64 hari dengan 5 unit reaktor UASB yang terbuat dari bahan fiber transparan berbentuk kolom diameter 10,16 cm dan tinggi 100 cm, dan lubang outlet 60 cm. Variasi yang dilaksanakan meliputi variasi konsentrasi dengan rentang 155 mg/L – 1400 mg/L; variasi HRT 4-12 jam; variasi kecepatan aliran ke atas ( $V_{up}$ ) 0,05m/jam-0,15m/jam; dan variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) 0,05–0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam.

Penelitian menghasilkan rerata efisiensi penyisihan COD optimum sebesar 48,01-77,34% pada variasi HRT 8 jam dan dengan beban konsentrasi 827 mg/L-867 mg/L. Model Optimasi Regresi menghasilkan efisiensi penyisihan BOD terbesar 72,35 % untuk beban konsentrasi 910 mg/L dan efisiensi penyisihan COD terbesar 74,43 % untuk beban konsentrasi 962,50 mg/L. Model kinetika penyisihan BOD<sub>5</sub> menentukan konstanta laju degradasi (k) sebesar 0,11/jam untuk beban 473,76-643,10 mg/L dan model kinetika penyisihan COD menghasilkan konstanta laju degradasi (k) sebesar 0,10/jam untuk beban 960-1480 mg/L.

Penelitian menggunakan *greywater* dari limbah domestik Kota Semarang dengan variasi operasional optimum dan rerata konsentrasi beban 603,03 mg/L (566,67-633,33 mg/L) menghasilkan efisiensi terbesar 70,84% (62,86-80,00%). Sedangkan untuk BOD<sub>5</sub> dengan beban konsentrasi rerata 328,44,mg/L (299,78-341,57 mg/L) diperoleh rerata efisiensi terbesar 69,25% (61,71-75,62%). Pengolahan *greywater* dari limbah domestik Kota Semarang memiliki kinerja yang lebih baik daripada pengolahan *artificial greywater* pada variasi beban BOD<sub>5</sub> 297-312 mg/L.

Efisiensi penyisihan COD dan BOD memiliki hubungan dengan kapasitas hidrolis (HRT, debit, Vup, HLR) dan konsentrasi influen. HRT semakin besar, debit semakin kecil, Vup/HLR semakin kecil maka efisiensi akan meningkat demikian pula sebaliknya. Penyisihan COD BOD<sub>5</sub> pada pengolahan *greywater* dari limbah domestik Kota Semarang dengan HRT 8 jam memiliki kinerja yang lebih baik dari pengolahan *artificial greywater*. Setiap 1 g/m<sup>3</sup> COD menghasilkan 0,06 mL biogas.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka reaktor UASB dapat dijadikan salah satu solusi untuk melaksanakan pengelolaan dan pengendalian lingkungan perairan. Penelitian lebih lanjut mengenai UASB perlu dilaksanakan agar didapatkan ketinggian kolom yang sesuai dengan kebutuhan praktis di lapangan.

*Kata Kunci : Greywater, UASB, HLR, Vup dan HRT*

## **BAB I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kota Semarang yang merupakan ibukota Provinsi Jawa Tengah terdiri dari 16 kecamatan dengan luas 373,70 km<sup>2</sup> memiliki persoalan penanganan air limbah domestik yang sama dengan kota-kota di Indonesia. Kota Semarang yang memiliki areal permukiman seluas 12.355,96 ha dan dihuni oleh 1.544.358 jiwa tentunya memerlukan penanganan air limbah domestik yang cukup memadai. Penanganan air limbah domestik Kota Semarang dilakukan dengan 2 cara untuk *blackwater* 90% dialirkan ke tangki septik dan hampir 94% *greywater* dialirkan ke drainase tanpa pengolahan. Adapun karakteristik *greywater* Kota Semarang diwakili wilayah pemukiman tidak teratur Kelurahan Gabahan Kecamatan Semarang Tengah memiliki kandungan COD 330,75 mg/L hingga 1400 mg/L dan 125,60 mg/L - 673 mg/L kandungan BOD<sub>5</sub>. Sedangkan wilayah tertata diwakili Perumahan Bukit Semarang Baru Kecamatan Mijen kota Semarang dengan rentang kandungan COD 29,90 mg/L-83,40 mg/L dan rentang BOD<sub>5</sub> sebesar 11 mg/L-41,88 mg/L. Rentang konsentrasi COD dan BOD<sub>5</sub> tersebut dapat disimpulkan berada di atas Baku Mutu sesuai Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Sehingga jika buangan rumahtangga tersebut dibuang ke perairan melalui jaringan drainase akan beresiko mencemari badan penerima air sekitar. Menurut catatan BLH Kota Semarang (2013) beberapa sungai di Kota Semarang yang berdekatan

dengan pemukiman penduduk, kandungan COD dan BOD<sub>5</sub>nya juga melebihi baku mutu sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 082 tahun 2001 tentang Pengelolaan dan Pengendalian Kualitas Air. Beberapa sungai tersebut misalnya kandungan COD 100 mg/L dan BOD<sub>5</sub> 26 mg/L untuk Sungai Banger Hulu; COD 161,54 mg/L dan BOD<sub>5</sub> 39 mg/L untuk Sungai Banger Hilir; COD 46,15 mg/L dan BOD<sub>5</sub> 18 mg/L untuk Kali Asin Hulu; COD 83,46 mg/L dan BOD<sub>5</sub> 22 mg/L untuk Kali Asin Hilir. Kandungan COD dan BOD<sub>5</sub>. Sungai sungai yang melebihi baku mutu tersebut diduga diakibatkan oleh aktifitas pemukiman. Oleh karena itu *greywater* yang dihasilkan dari penggunaan kamar mandi, dapur dan tempat cuci pakaian penduduk Kota Semarang tersebut harus diolah lebih dahulu sebelum dibuang ke perairan. Menurut Direktorat Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum (2009) besar timbulan air limbah domestik berkisar 80-120 L/orang/hari dan untuk *greywater* sekitar 60-75% dari total volume air limbah domestik dengan kandungan rendah nutrien dan materi patogen.

Mengingat besarnya air limbah domestik ini maka perlu dilakukan pengelolaan air limbah domestik secara benar. *Greywater* tanpa pengolahan jika masuk ke lingkungan perairan berpotensi meningkatkan COD dan BOD, yang berakibat berkurangnya nilai oksigen terlarut "*dissolved oxygen*" (DO). Dengan menurunnya kandungan DO di perairan maka akan mempengaruhi kehidupan ikan dan biota air lainnya. Selain itu, masuknya air limbah domestik ke perairan juga dapat menimbulkan bau yang tidak enak dan resiko

terjadinya “*eutrofikasi*” (Eiger and Smith, 2002). Melihat besarnya resiko pencemaran air maka *greywater air limbah domestik* diharapkan dilakukan pengolahan lebih dahulu sebelum dialirkan ke badan air permukaan (sungai dan danau).

Menurut Chin dan Wong (1984) dalam Astri Nugroho dkk (2007), alternatif pengolahan yang paling ekonomis dan sederhana dalam mengolah *greywater* adalah proses pengolahan biologi yang terbagi menjadi 2 yakni proses *aerob* yang membutuhkan oksigen dan proses *anaerob* adalah proses biologi tanpa bantuan oksigen. Pengolahan aerobik terdiri dari dua proses yaitu proses oksidasi dan proses fermentasi lewat enzim yang dikeluarkan oleh bakteri contoh *activated sludge*, *biological contact media*, *aerated lagoon* dan *stabilisasi dengan fotosintesa*. Saat ini telah dipelajari pengolahan *greywater* dengan menggunakan sistem laju aerobik tinggi seperti *rotating biological contactor/RBC* (Nolde, 1999); *fluidised bed* (Nolde, 1999); *aerobic filter /AF* (Jefferson *et al.*,1999) serta *membrane bioreactor/MB* (Jefferson *et al.*,1999). Disamping itu, pengolahan *greywater* dengan menggunakan sistem laju aerobik rendah seperti *slow sand filter/SSF* (Jefferson *et al.*,1999) dan *vertical flow constructed wetlands/VFCW* (Otterpohl *et al.*, 2003).

Di sisi lain pengolahan *anaerob* adalah (1) pengolahan yang kebutuhan enerjinya dan nutrisi rendah, (2) menghasilkan efluen stabil dan lumpur sedikit, (3) menghasilkan biogas dan (4) murah. (Grady and Lim,1980,*et Lettinga*, 1996), (5) cocok untuk limbah organik tinggi (Ayati dan Ganjidoust, 2006), (6) teknologinya sederhana dan

ekonomis. Pengolahan *anaerob* untuk air limbah domestik termasuk *greywater* adalah *Septic Tank*, *Imhoff Tank*, *Anaerobic Lagoon (AL)*, *Anaerobic Filter (AF)*, dan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*.

UASB memiliki kelebihan (1) mampu mengolah limbah cair dengan beban organik tinggi (2) toleran terhadap beban kejutan (*shock loading*) (Shanmugam dan Akunna, 2008) dan (3) efisiensi besar serta (4) murah (Gulseven, 2004). Penggunaan UASB di India, Pakistan, China, Columbia, Indonesia, Brazil dan Mesir lebih banyak digunakan untuk air limbah domestik secara komunal (Wiegant *et al*, Haskoning, 2003). Walaupun begitu, kinerja pengolahan reaktor UASB sangat dipengaruhi oleh kapasitas hidrolis dan kapasitas beban seperti, (1) *Hydraulic Retention Time (HRT)*, (2) *Hydraulic Loading Rate (HLR)*; (3) *Velocity Up (V<sub>up</sub>)*; (4) debit influen; (5) konsentrasi limbah organik; (6) *Organic Loading Rate (OLR)*; serta variabel operasional seperti suhu dan derajat keasaman (pH) (Haandel and Lettinga, 1994; Ghangrekar *et al*, 2003; Nugrahini *dkk*, 2008; Lew *et al*, 2004; Clark *et Sprece*, 1971; Eckenfelder *et al*, 1998; Aslan dan Sekerdag, 2008; Al-Shayah *et Mahmoud*, 2008; Yasar *et al*, 2007).

Mempertimbangkan (1) cukup besarnya debit *greywater* yang dibuang ke saluran drainase dari permukiman; (2) berbedanya karakteristik air limbah di luar negeri dan di Indonesia (3) kondisi iklim di Indonesia berbeda dengan iklim di luar negeri terutama suhu; (4) belum terkelolanya dengan baik *greywater* (5) belum banyaknya kota di Indonesia yang menetralkan pengelolaan terpusat, maka



perlu dikaji sistem Pengolahan Air limbah Domestik Tipe *Greywater* menggunakan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB).

## 1.2. Perumusan Masalah

Penggunaan UASB untuk pengolahan air limbah sudah banyak diteliti dengan berbagai variasi parameter kinerjanya di luar negeri. Dari kajian di atas hampir sebagian besar penelitian masih diprioritaskan pada penelitian untuk parameter COD. Untuk parameter cemaran BOD<sub>5</sub> belum banyak dilakukan terkait UASB. Di pihak lain ada hubungan erat antara parameter BOD<sub>5</sub> dan COD di dalam proses pengolahan biologi sehingga perlu dipertimbangkan hubungan antara kedua parameter di atas. Penelitian pengolahan dengan UASB masih banyak dilakukan dengan mengkombinasikan dengan sistem biologi yang lain dengan obyek limbahnya adalah limbah cair industri. Variasi parameter pada berbagai penelitian tentang UASB masih tertuju pada parameter *HRT dan pH*; *HRT dan suhu*; HRT dan debit. Padahal kapasitas hidrolis dan kapasitas beban pada UASB tidak hanya parameter di atas tetapi juga terdapat kecepatan ke atas (*V<sub>up</sub>*) dan *Organic Loading Rate (OLR)* serta *Hydraulic Loading Rate (HLR)*. Lebih jauh, karakteristik influen antara *greywater di luar negeri yang memiliki 4 musim dengan Indonesia yang hanya 2 musim* tentunya berbeda termasuk besaran konsentrasi parameter influennya. Hal ini bisa dilihat pada hasil penelitian sebagaimana uraian berikut :

Ghangrekar *et* Kahalekar (2003) telah melakukan penelitian pengolahan limbah cair domestik skala laboratorium dengan 2 unit

UASB (R1/10 L dan R2/11,5 L) dengan hasil HRT makin besar maka efisiensi penyisihan COD pengolahan juga semakin besar.

Agrawal *et al* (1997) telah meneliti UASB skala Laboratorium yang dilengkapi *digested sewage sludge* 110 L pada suhu 25<sup>0</sup>C dengan sistem *continous* untuk mengolah *syntetic wastewater* dengan waktu pengolahan lama (> 700 hari), HRT 9 jam serta laju umpan 0,73 kgCOD/m<sup>3</sup>/hari diperoleh kinerja reaktor UASB R1 81,5 ±5 % dan R2 73±7 % serta produktifitas gas metane 212 NL/kg COD *removed* dan 133 NL/kg COD *added*.

Yasar *et al* (2007) telah melakukan penelitian pengolahan limbah cair industri skala laboratorium dari kombinasi reaktor UASB-UASF dengan HRT 3-12 jam memperoleh efisiensi penyisihan COD menurun dari 82% ke 69% untuk reaktor UASF selaras dengan penurunan HRTnya.

Lew *et al* (2004) telah melakukan penelitian dengan Reaktor UASB untuk limbah cair domestik, efisiensi optimum terjadi pada suhu 28<sup>0</sup>C sebesar 82% pada *OLR* 200-3180 mg COD/l dan HRT 8 – 24 jam.

Azimi dan Zamanzadeh (2004) telah melakukan penelitian secara *pilot scale* dengan HRT 2,4,6,8, dan 10 jam. Pada musim panas, efisiensi penurunan BOD optimum 71,65% dan 65% untuk COD pada HRT 6 jam. Sedangkan pada musim dingin pada HRT 8 jam terjadi penurunan efisiensi menjadi sebesar 54% (BOD) dan 46% (COD).

Soetopo *dkk* (2010) telah melaksanakan penelitian proses kontinyu untuk air limbah industri kertas diperoleh proses metanasi UASB terbaik pada pH sekitar 7, suhu mesofilik, dan HRT 5 hari. Efisiensi penurunan COD terlarut 15,12-52,21% dan menghasilkan biogas sebesar 4,07-15,82 L/hari atau 0,66-2,38/gr CODf reduksi dengan konsentrasi  $\text{CH}_4 = 50,4\text{-}64,1\%$  dan  $\text{CO}_2 = 18\text{-}30\%$ .

Leal *et al*, (2010) telah melakukan penelitian pengolahan *aerobik* (1) dengan efisiensi COD 90% dan 97%, pada HRT 12 jam dan suhu  $32\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Pengolahan secara *anaerobik* (2) pada HRT 12 jam dan suhu  $32\pm 3^{\circ}\text{C}$ , penyisihan COD-nya mencapai 51%, dengan tingkat pembentukan metana dari *greywater* 32%.

Halalsheh *et al* (2005) telah melakukan penelitian pengolahan limbah domestik dioperasikan pada beban 1,5-1,8 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan HRT 24 jam, menghasilkan efisiensi penyisihan COD maksimum pada kisaran 87%-93%.

Sibel Aslan *et Nusret Sekerdag* (2008) menunjukkan efisiensi penyisihan mencapai 84% dan variasi COD influen mempengaruhi tingkat penyisihan COD.

Elmitwalli *et Otterpohl*, (2011) telah melakukan penelitian pengolahan *greywater* yang dioperasikan pada HRT 16, 10 dan 6 jam dan suhu  $30^{\circ}\text{C}$ . Nilai tertinggi dari biodegradabilitas anaerobik maksimum 76% dan penyisihan COD maksimum 84%. Sedangkan penyisihan COD *total* 52-64% diperoleh pada HRT antara 6 dan 16 jam.

Beberapa penelitian di atas belum banyak memberikan kinerja penyisihan BOD air limbah domestik dari daerah tropis mengingat kinerja pengolahan air limbah tidak hanya dilihat dari penyisihan COD. Disamping belum dilakukan penelitian menggunakan greywater langsung dari kawasan pemukiman kota Semarang. Sehingga penelitian terdahulu tersirat belum memberikan fenomena hubungan kinerja penyisihan BOD dan COD.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas maka dirasa penting perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait efisiensi penyisihan COD dan BOD pada pengolahan air limbah domestik tipe *greywater* dengan menggunakan reaktor UASB dengan variasi HRT,  $V_{up}$ /HLR, Debit dan konsentrasi influen..

### **1.3. Pertanyaan Penelitian**

Pertanyaan penelitian terkait dengan kinerja pengolahan air limbah domestik tipe *graywater* menggunakan reaktor UASB sebagai berikut :

1. Bagaimana pengelolaan dan karakteristik timbulan limbah domestik di Kota Semarang?
2. Bagaimana pengaruh kapasitas hidrolis ( $HRT$ , Debit,  $V_{up}$ ,  $HLR$ ) terhadap efisiensi penyisihan COD dan  $BOD_5$  pengolahan *artificial greywater* menggunakan *UASB*?
3. Bagaimana menentukan efisiensi optimum terkait konsentrasi dan kapasitas hidrolis pada penyisihan COD dan  $BOD_5$  pengolahan *artificial greywater* menggunakan *UASB*?

4. Bagaimana pengaruh konsentrasi influen terhadap efisiensi penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> pengolahan *greywater* menggunakan *UASB*?
5. Bagaimana hubungan antara produktifitas biogas/metana dengan kinerja pengolahan *greywater* dengan menggunakan *UASB*?

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian pengolahan air limbah domestik tipe *graywater* menggunakan reaktor *UASB* adalah :

1. Menganalisa pengelolaan air limbah domestik dan karakteristik timbulannya Kota Semarang;
2. Menganalisis dan menentukan pengaruh kapasitas hidrolis (*HRT*, Debit, *V<sub>up</sub>*, *HLR*) terhadap efisiensi penyisihan COD dan BOD pengolahan *greywater* menggunakan *UASB*;
3. Menganalisis dan menentukan pengaruh konsentrasi influen terhadap efisiensi penyisihan COD dan BOD pada pengolahan *greywater* menggunakan *UASB*;
4. Menentukan efisiensi optimum terkait konsentrasi dan kapasitas hidrolis pada penyisihan COD dan BOD pengolahan *greywater* menggunakan *UASB*;
5. Menentukan hubungan antara produktifitas biogas/metana dengan kinerja pengolahan *greywater* dengan menggunakan *UASB*.

## **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat-manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian pengolahan *greywater* dengan UASB ini meliputi :

### **a. Manfaat Akademik**

Manfaat akademik dari penelitian ini dapat berupa :

1. Pengembangan keilmuan sistem pengolahan air limbah domestik tipe *greywater* menggunakan UASB sebagai pengolahan anaerob yang handal terutama untuk perumahan guna mengurangi pencemaran sungai;
2. Pengembangan keilmuan menyangkut model kapasitas hidrolis terhadap efisiensi pengolahan *greywater* menggunakan pengolahan anaerob tipe UASB;
3. Pengembangan keilmuan terkait pemanfaatan model pengolahan *greywater* menggunakan UASB untuk kawasan perumahan guna mengurangi pencemaran air.

### **b. Manfaat Praktis**

Manfaat penelitian yang dapat diterapkan untuk kepentingan masyarakat dan pemerintah adalah :

1. Bagi masyarakat pada umumnya dan pengembang perumahan pada khususnya hasil penelitian dapat dipakai sebagai pedoman teknis dalam penerapan pengolahan *greywater* dengan menggunakan reaktor UASB baik komunal maupun individual;
2. Bagi pemerintah sebagai bahan pertimbangan arahan kriteria desain pengolahan air limbah domestik dalam upaya pencegahan

pencemaran air permukaan/sungai guna mendukung ketersediaan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

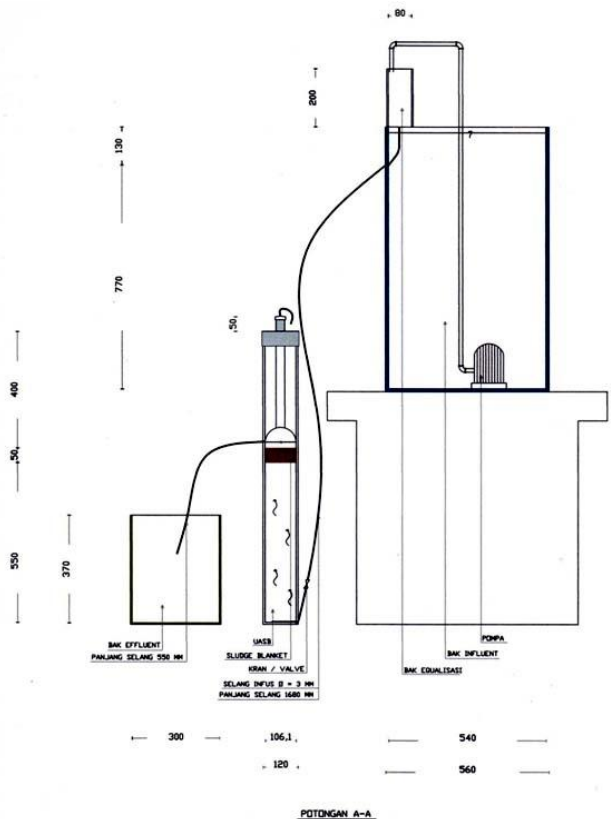
## **BAB II. METODE PENELITIAN**

Mengingat penelitian adalah penelitian ekperimentasi kuantitatif tahap pertama dilakukan skala laboratorium di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro dengan limbah *artificial* menggunakan 5 unit reaktor masing-masing terdiri 5 reaktor UASB yang divariasikan terhadap *HRT/HLR/Vup*, Debit serta konsentrasi yang dioperasikan selama 64 hari untuk tahapan aklimatisasi dan running sedangkan tahapan *seeding* selama 43 hari. Ukuran reaktor kolom berdiameter 10,61 cm, tinggi 100 cm dan lubang outlet setinggi 60 cm dilengkapi dengan kolam equalisasi ukuran 24 x 12 x 8 cm<sup>3</sup>, tangki limbah kapasitas 200liter, bak efluen kapasitas 20 liter dengan selang air untuk mengalirkan air dari tangki ke reaktor. Untuk pengaturan HRT,Vup/HLR digunakan pengaturan debit ke atas dengan menggunakan kran infus.

Metode pengujian menggunakan SNI 06-6989.2-2004 untuk COD dan SNI 6989.72-2009 untuk BOD dimana sampel diambil selama 2-3 hari sekali selama 64 hari kerja. Limbah *artificial* dibuat atas dasar konsentrasi limbah asli dari permukiman Kelurahan Gabahan dan Perumahan Bukit Semarang Baru Ngalian Kota Semarang.

Analisa hasil penelitian dilakukan dengan pendekatan matematis regresi dan diagram pencar, kinetika, dan statistik serta komparasi

penelitian terdahulu. Penelitian Tahap kedua dengan menggunakan air limbah *greywater* dari Kelurahan Gabahan Kota Semarang dengan variasi optimum yang diperoleh dari penelitian tahap pertama. Selanjutnya hasil dianalisis kecenderungannya bila dibandingkan dengan kinerja limbah *artificial*. Adapun rangkaian peralatan yang digunakan adalah :



**Gambar 1 :**  
**Skema Rangkaian UASB**



## **BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **3.1. Pengelolaan Air Limbah Kota Semarang**

Di Indonesia pengelolaan air limbah domestik (*blackwater* dan *greywater*) secara teknis terdiri atas 2 sistem yakni sistem di tempat (*on site* sanitasi) dan sistem terpusat. Sistem di tempat dilaksanakan bagi kota yang tidak memiliki pelayanan penyaluran air limbah ke sistem pengolahan terpusat sedangkan sebaliknya sistem terpusat bagi kota yang memiliki penyaluran air limbah dari permukiman ke unit pengolahan terpusat di suatu wilayah. Air limbah ini berasal dari wilayah permukiman dengan besar timbulan 60%-80% dari rerata konsumsi air bersih penduduk sebesar 120 liter/orang hari menurut PDAM Kota Semarang. Bila prosentase buangan air limbah penduduk rerata 70% maka besar timbulan sebesar 84 liter/orang/hari. Kandungan 75% air limbah domestik itu adalah jenis *greywater* dan sisanya *blackwater*. Sehingga rerata besar timbulan *greywater* diperkirakan 63 liter/orang/hari untuk setiap penduduk Kota Semarang.

Pengelolaan air limbah domestik pada umumnya di berbagai Kecamatan di Kota Semarang dilakukan dengan cara untuk *black water*, atau air limbah dari toilet, langsung dialirkan menuju septik tank atau tangki septik, sedangkan air limpasan dari tangki septik diresapkan ke tanah atau dibuang ke saluran umum. Menurut Pranata, dkk (2012) prosentase rerata jumlah pemilikan sarana sanitasi untuk air limbah domestik penduduk Kota Semarang seperti tipe leher angsa dengan atau tanpa dilengkapi dengan tangki septik sebesar 92,45%,

cubluk 5,68% serta mereka yang membuang langsung ke sungai atau lainnya rerata jumlahnya 1,87%. Sedangkan *greywater* atau air limbah yang berasal dari bak cuci, kamar mandi, buangan dapur, dan sebagainya atau bukan berasal dari toilet dibuang langsung ke saluran umum/sungai melalui saluran drainase (94,06%) dan diresapkan ke dalam tanah (5,94%).

Menurut Nur Syafarina dkk (2011) di Permukiman Kelurahan Gabahan Kecamatan Semarang Tengah Kota Semarang sebagai wakil perumahan tidak teratur konsentrasi COD *greywater* sebesar 330,75 mg/L- 1400 mg/L dan konsentrasi BOD5 sebesar 125,60 mg/L-673 mg/L. Sedangkan Perumahan tertata Bukit Semarang Baru Kecamatan Mijen kota Semarang untuk tipe rumah kecil diperoleh COD sebesar 29,90 mg/L dan BOD5 sebesar 11 mg/L; untuk tipe rumah sedang COD diperoleh 63,09 mg/L dan BOD5 sebesar 24,70 mg/L; untuk rumah tipe besar COD diperoleh 83,40 mg/L dan BOD5 sebesar 41,88 mg/L. Dapat disimpulkan rentang konsentrasi COD *greywater* Kota Semarang 155 mg/L-1400 mg/L dan rentang BODnya 125mg/L-673 mg/L. Berdasarkan hasil uji karakteristik air limbah domestik (*grey water*) di kedua tempat tersebut kandungan COD dan BOD5 dapat disimpulkan berada di atas Baku Mutu sesuai Peraturan Daerah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Sehingga jika buangan rumah tangga tersebut dibuang keperairan melalui jaringan drainase akan beresiko mencemari badan penerima air sekitar. Besar resiko cemaran yang akan masuk ke perairan umum dari ujung sistem

drainase untuk COD sebesar 0,98 - 8,8 g/orang/hari dan BOD 0,79 – 4,24 g/orang/hari.

Selanjutnya dari karakteristik *greywater* kota Semarang di atas dilakukan penelitian ekperimentasi pengolahannya menggunakan reaktor UASB skala laboratorium.

### **3.2. Kinerja Pengolahan Limbah *Artificial*.**

#### **a. Hubungan Variasi HRT dan Konsentrasi terhadap Efisiensi dan Penyisihan COD-BOD<sub>5</sub>.**

Operasional penelitian dilakukan pada HRT 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam dan HRT 12 jam dengan rerata variasi konsentrasi Tinggi 1442,86 mg/L (1420 mg/L-1480 mg/l), konsentrasi Sedang Tinggi 1131,43 mg/L (1100 mg/L-1160 mg/l), konsentrasi Sedang 849,53 mg/L (826,70 mg/L-866,70 mg/L), konsentrasi Rendah-Sedang 558,10 mg/l (520 mg/l-586,67 mg/L) dan konsentrasi Rendah 154,76 mg/l (146,67 mg/L-160 mg/l) untuk COD. Sedangkan untuk konsentrasi pembebanan BOD adalah konsentrasi Tinggi 674,75 mg/L (623,62 mg/L-721 mg/L), konsentrasi Sedang Tinggi 611,64 mg/L (554,40 mg/L-643,10 mg/l), konsentrasi Sedang 497,03 mg/L (473,76 mg/L-518,11 mg/L), konsentrasi Rendah-Sedang 305,31 mg/l (297,02 mg/l-312 mg/L) dan konsentrasi Rendah 92,04 mg/l (87 mg/L-96,43 mg/l).

Hasil penelitian untuk variasi *HRT* diperoleh rerata efisiensi penyisihan COD terbesar adalah 48,01% -77,34% pada *HRT* 12 jam. Berdasarkan beban konsentrasi influen, rentang rerata efisiensi

penyisihan COD terbesar 39,71% -77,34 % untuk variasi konsentrasi sedang (827 mg/L-867 mg/L). Untuk rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar mencapai 44,47% -74,58% untuk variasi *HRT* 12 jam. Untuk variasi konsentrasi rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar diperoleh 38,02% -74,58% terjadi pada konsentrasi Sedang (473,76 mg/L-518,11 mg/L).

**Tabel 1 :**  
**Matrik Hubungan *HRT* dan *Konsentrasi Influen***

Variasi	Efisiensi Penyisihan (%)			
	COD	Keterangan	BOD <sub>5</sub>	Keterangan
<b>Variasi <i>HRT</i> (<i>Hydraulic Retention Time</i>)</b>				
Konsentrasi Tinggi	73.08	HRT 12 jam	65.51	HRT 12 jam
Konsentrasi Sedang-Tinggi	74.26	HRT 12 jam	72.6	HRT 12 jam
Konsentrasi Sedang	77.34	HRT 12 jam	74.58	HRT 12 jam
Konsentrasi Rendah-Sedang	69.92	HRT 12 jam	66.95	HRT 12 jam
Konsentrasi Rendah	48.01	HRT 12 jam	44.47	HRT 12 jam
<b>Variasi Konsentrasi</b>				
HRT 4 jam	39.71	Konsentrasi Sedang	38.02	Konsentrasi Sedang
HRT 6 jam	50.68	Konsentrasi Sedang	51.63	Konsentrasi Sedang
HRT 8 jam	63.65	Konsentrasi Sedang	61.66	Konsentrasi Sedang
HRT 10 jam	70.6	Konsentrasi Sedang	71.47	Konsentrasi Sedang
HRT 12 jam	77.34	Konsentrasi Sedang	74.58	Konsentrasi Sedang

Berdasarkan tabel 1 diperoleh efisiensi penyisihan COD optimum variasi konsentrasi sebesar 77,34% pada konsentrasi sedang dan untuk BOD<sub>5</sub> efisiensi maksimum sebesar 74,58 % pada kondisi HRT 12 jam. Dengan demikian secara keseluruhan kondisi optimum pengolahan air limbah *artificial* menggunakan UASB memiliki kinerja efisiensi pengolahan pada rentang 38,02%-74,58% untuk BOD<sub>5</sub> dan 39,71%-77,34% untuk COD pada konsentrasi Sedang ( $\pm 788$  mg/L).

Di sisi lain secara kualitatif, hasil penelitian menunjukkan makin kecil HRT makin pendek efisiensi penyisihannya dan makin besar konsentrasi efluennya pada konsentrasi yang sama. Penelitian juga mencatat pada konsentrasi tinggi dan sedang-tinggi memiliki efisiensi yang lebih rendah dari pada konsentrasi sedang.

Hal ini selaras dengan penelitian Nugrahini dkk (2008) dan Husin (2008) menyatakan bahwa waktu tinggal/ HRT yang cukup lama akan memberi kesempatan kontak lebih lama antara lumpur anaerob dengan limbah cair sehingga proses penguraian zat organik menjadi lebih baik. Lebih jauh, bila HRT yang digunakan cukup lama maka akan memberi kesempatan kontak lebih lama antara lumpur anaerob dengan limbah cair (Farajzadeh et al, 2012). Mukminin (2012) menyatakan bahwa semakin lama *HRT* maka semakin lambat kecepatan aliran dalam sludge blanket sehingga efisiensi penyisihan semakin besar. Hasil penelitian juga menyimpulkan terdapat

hubungan yang erat antara efisiensi penyisihan COD dan BOD dengan variabel *HRT* dan konsentrasi influen. Dengan menurunkan nilai konsentrasi influen hingga ketitik tertentu maka efisiensi penyisihan akan meningkat. Namun bila konsentrasi influen terlalu rendah maka efisiensi penyisihan akan menjadi rendah. Kondisi ini mempertegas pernyataan, Aslan et Sekerdag (2008) bahwa konsentrasi influen COD mempengaruhi tingkat degradasi COD sehingga pada tingkat pembebanan yang sama efisiensi penyisihan lebih tinggi pada konsentrasi influen yang rendah.

Walaupun demikian pada penelitian juga terdapat penurunan efisiensi yang signifikan sebelum menuju ke kondisi stabil (kasus anomali). Hal ini diduga akibat peningkatan turbulensi dalam reaktor karena debit yang tidak konstan sehingga waktu kontak air limbah dengan lumpur anaerob akan menurun. Walaupun demikian, *HRT* yang sangat lama dapat memberi pengaruh negatif pada proses granulasi lumpur dalam reaktor UASB (Alphenaar *et al*, 1993). Sedangkan *HRT* yang sangat singkat juga dapat menyebabkan terhanyutnya biomassa keluar reaktor (Van Haandel, 2006). Oleh karena itu hasil penelitian secara kualitatif tidak bertentangan dengan penelitian sebelumnya.

**b. Hubungan Variasi Debit dan Konsentrasi terhadap Efisiensi dan Penyisihan COD-BOD.**

Untuk reaktor yang divariasikan atas dasar debit dengan variasi debit Q1 1,215 liter/jam; Q2 0,810 liter/jam; Q3 0,6075 m<sup>3</sup>/jam; Q4 0,4860 liter/jam serta Q5 0,4050 liter/jam yang diatur sedemikian rupa selama operasional reaktor UASB agar dapat dijaga kestabilan debitnya.

Hasil penelitian rentang rerata efisiensi penyisihan COD terbesar pada Q 0,405 L/jam yakni 48,01% -77,34% sedangkan atas dasar beban konsentrasi rentang rerata efisiensi penyisihan COD terbesar 39,71%-77,34 % untuk konsentrasi sedang (827 mg/L-867 mg/L). Sedangkan untuk efisiensi penyisihan BOD terbesar pada Q 0,405 L/jam mencapai 44,47% -74,58%. Sedangkan untuk variasi konsentrasi, rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar antara 38,02% -74,58% terjadi pada rentang konsentrasi sedang (473,76 mg/L-518,11 mg/L).

**Tabel 2 :**  
**Matrik Hubungan *Debit dan Konsentrasi Influen***

Variasi	Efisiensi Penyisihan (%)			
	BOD <sub>5</sub>		COD	
Konsentrasi Rendah	44,47	Debit 0,405 L/jam	48,01	Debit 0,405 L/jam
Kon.Rendah- Sedang	66,95	Debit 0,405 L/jam	69,92	Debit 0,405 L/jam
Konsentrasi Sedang	74,58	Debit 0,405 L/jam	77,34	Debit 0,405 L/jam
Kon.Sedang-Tinggi	72,6	Debit 0,405 L/jam	74,26	Debit 0,405 L/jam
Konsentrasi Tinggi	65,51	Debit 0,405 L/jam	73,08	Debit 0,405 L/jam
Debit 1,215 L/jam	38.02	Konsentrasi Sedang	39.71	Konsentrasi Sedang
Debit 0.81 L/jam	51.63	Konsentrasi Sedang	50.68	Konsentrasi Sedang
Debit 0.6075 L/jam	61.66	Konsentrasi Sedang	63.65	Konsentrasi Sedang
Debit 0.486 L/jam	71.47	Konsentrasi Sedang	70.60	Konsentrasi Sedang
Debit 0,405 L/jam	74.58	Konsentrasi Sedang	77.34	Konsentrasi Sedang

Penelitian menunjukkan debit semakin besar efisiensi penyisihan COD juga semakin kecil sesuai dengan Darmayanti (2002) yang menyatakan bahwa untuk perpanjangan waktu reaksi akan menghasilkan penyisihan organik yang lebih baik. Hal ini karena semakin rendah laju alir maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam limbah berlangsung baik, karena



kontak antara mikroorganisme dengan limbah berlangsung cukup lama (Nugrahini, 2008). Serta penelitian Indriani (2007) menyatakan debit dan konsentrasi *greywater* dapat mempengaruhi efisiensi reaktor pengolahan secara hidrolis. Debit yang besar dapat menyebabkan reandahnya waktu detensi sehingga tidak optimalnya kontak antara sel biomass dengan zat organik. Dengan pertimbangan tersebut, hasil penelitian secara kualitatif cocok dengan penelitian sebelumnya.

Hasil penelitian sesuai pernyataan Said (2000) dan Indriani (2007) bahwa semakin kecil debit yang diikuti oleh besarnya kualitas air limbah akan menghasilkan efisiensi pengolahan yang tinggi. Debit yang kecil membuat waktu kotak yang terjadi antara air limbah dengan mikroorganisme pada lapisan biofilm semakin lama. Sehingga kesempatan mikroorganisme mendegradasi senyawa organisme semakin besar.

### **c. Hubungan Variasi *HLR* dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Penyisihan COD-BOD<sub>5</sub>.**

*Hydraulic Loading Rate* (*HLR*) adalah merupakan kecepatan aliran limbah di dalam reaktor pengolahan yang berbanding lurus dengan debit dan berbanding terbalik dengan luas penampang reaktor. Operasional reaktor pengolah limbah *artificial* divariasikan dengan *HLR* 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam; *HLR* 0,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam; *HLR* 0,075 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam; *HLR* 0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam serta *HLR* 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam yang diatur berdasarkan debit reaktor agar dapat dijaga kestabilannya.

**Tabel 3 :**  
**Matrik Hubungan *HLR* dan *Konsentrasi Influen***

Variasi	Efisiensi Penyisihan (%)			
	COD	Keterangan	BOD <sub>5</sub>	Keterangan
<b>Variasi HLR (<i>Hydraulic Loading Rate</i>)</b>				
1. Konsentrasi Tinggi	73.08	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	65.51	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
2. Konsentrasi Sedang-Tinggi	74.26	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	72.6	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
3. Konsentrasi Sedang	77.34	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	74.58	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
4. Konsentrasi Rendah-Sedang	69.92	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	66.95	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
5. Konsentrasi Rendah	48.01	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	44.47	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
<b>Variasi Konsentrasi</b>				
1. HLR 0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	39.71	Konsentrasi Sedang	38.02	Konsentrasi Sedang
2. HLR 0,10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	50.68	Konsentrasi Sedang	51.63	Konsentrasi Sedang
3. HLR 0,075 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	63.65	Konsentrasi Sedang	61.66	Konsentrasi Sedang
4. HLR 0,06 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	70.6	Konsentrasi Sedang	71.47	Konsentrasi Sedang
5. HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	77.34	Konsentrasi Sedang	74.58	Konsentrasi Sedang

Sedangkan variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) hasil penelitian menunjukkan makin kecil *HLR* pada beban konsentrasi yang

sama efisiensi penyisihan baik untuk COD maupun BOD makin meningkat. Hal ini sesuai penelitian Aslan et Sekerdag (2006) menyatakan tingkat efisiensi penyisihan COD menurun bila pembebanan hidrolis dan organik meningkat. Pada tingkat pembebanan hidrolis yang sama, efisiensi penyisihan yang dicapai lebih tinggi pada konsentrasi yang lebih rendah. Menurut Mahmoud (2003) dalam Mussavi (2010) peningkatan kinerja reaktor UASB mengolah limbah cair disebabkan oleh sistem kecepatan aliran dan pemerataan influen pada penampang reaktor. Oleh karena itu secara kualitatif penelitian variasi HLR dan konsentrasi influen untuk pengolahan *greywater* dengan UASB mempertegas penelitian sebelumnya.

Secara kuantitatif hasil penelitian diperoleh rerata efisiensi penyisihan COD terbesar pada HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  yakni 48,01% - 77,34%. Berdasarkan beban konsentrasi influen, rentang rerata efisiensi penyisihan COD terbesar 39,71% - 77,34% untuk variasi konsentrasi sedang (827 mg/L-867 mg/L). Sedangkan untuk rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar pada HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  mencapai 44,47%-74,58%. Untuk variasi konsentrasi, rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar antara 38,02% - 74,58% terjadi pada rentang konsentrasi sedang (473,76 mg/L-518,11 mg/L).

**d. Hubungan Variasi  $V_{up}$  dan Konsentrasi terhadap Efisiensi Penyisihan COD-BOD<sub>5</sub>**

Kecepatan ke atas ( $V_{up}$ ) adalah kecepatan aliran untuk melewati bagian penampang melintang dari reaktor UASB dengan besaran berbanding lurus debit dan berbanding terbalik dengan permukaan reaktor. Variasi operasional  $V_{up}$  ditentukan  $V_{up}$  0,15 m/jam;  $V_{up}$  0,10 m/jam;  $V_{up}$  0,075 m/jam;  $V_{up}$  0,06 m/jam serta  $V_{up}$  0,05 m/jam yang pengaturannya didasarkan atas debit reaktor agar dapat dijaga kestabilannya. Secara kuantitatif hasil penelitian untuk variasi  $V_{up}$  dan konsentrasi influen dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Rentang rerata efisiensi penyisihan COD terbesar pada  $V_{up}$  0,05 m/jam yakni 48,01% -77,34%. Berdasarkan beban konsentrasi influen, rentang rerata efisiensi penyisihan COD terbesar 39,71% -77,34 % untuk variasi konsentrasi sedang (827 mg/L-867 mg/L).
- b. Rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar pada  $V_{up}$  0,05 m/jam mencapai 44,47%-74,58%. Sedangkan untuk variasi konsentrasi, rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar antara 38,02% -74,58% terjadi pada rentang konsentrasi sedang (473,76 mg/L-518,11 mg/L).

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh efisiensi penyisihan COD terbesar variasi konsentrasi sebesar 77,34% pada konsentrasi sedang dan untuk

BOD<sub>5</sub> efisiensi maksimum sebesar 74,58 % pada kondisi Vup 0,05 m/jam.

**Tabel 4:**

**Matrik Hubungan Kecepatan Upflow dan Konsentrasi Influen**

Variasi	Satuan	Efisiensi Penyisihan (%)			
		BOD <sub>5</sub>		COD	
<b>Pengaruh Kecepatan <i>Upflow</i></b>					
Konsentrasi Rendah	mg/L	44,47	Vup 0,05 m/jam	48,01	Vup 0,05 m/jam
Konsen.Rendah-Sedang	mg/L	66,95	Vup 0,05 m/jam	69,92	Vup 0,05 m/jam
Konsentrasi Sedang	mg/L	74,58	Vup 0,05 m/jam	77,34	Vup 0,05 m/jam
Konsen. Sedang-Tinggi	mg/L	72,6	Vup 0,05 m/jam	74,26	Vup 0,05 m/jam
Konsentrasi Tinggi	mg/L	65,51	Vup 0,05 m/jam	73,08	Vup 0,05 m/jam
<b>Pengaruh Konsentrasi Influen</b>					
Vup 0,15 m/jam	m/jam	38.02	Konsentrasi Sedang	39.71	Konsentrasi Sedang
Vup 0,1 m/jam	m/jam	51.63	Konsentrasi Sedang	50.68	Konsentrasi Sedang
Vup 0,075 m/jam	m/jam	61.66	Konsentrasi Sedang	63.65	Konsentrasi Sedang
Vup 0,06 m/jam	m/jam	71.47	Konsentrasi Sedang	70.60	Konsentrasi Sedang
Vup 0,05 m/jam	m/jam	74.58	Konsentrasi Sedang	77.34	Konsentrasi Sedang

*Kecepatan ke atas* (Vup) adalah kecepatan aliran melewati bagian penampang lintas melintang dari reaktor UASB dimana berbanding lurus debit dan berbanding terbalik dengan permukaan reaktor. Hasil penelitian variasi Vup diperoleh Rentang rerata efisiensi penyisihan COD terbesar pada Vup 0,05 m/jam yakni 48,01% - 77,34% sedangkan untuk variasi konsentrasi influen rentang rerata efisiensi penyisihan COD terbesar 39,71% -77,34 % untuk variasi konsentrasi sedang (827 mg/L-867 mg/L). Serta rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar pada Vup 0,05 m/jam mencapai 44,47%-74,58%. Sedangkan untuk variasi konsentrasi, rentang rerata efisiensi penyisihan BOD terbesar antara 38,02% -74,58% terjadi pada rentang konsentrasi sedang (473,76 mg/L-518,11 mg/L). Hasil penelitian mempertegas pernyataan (Moertinah,2010). Achmad (1999) dan Yasser et Tabinda (2010) menyatakan kecepatan upflow yang tinggi akan menyebabkan pendek masa kontak antara substrat dan biomassa sehingga efisiensi juga menurun. Untuk itu kecepatan ke atas (Vup) harus dipertahankan sedemikian rupa sehingga dapat menciptakan sludge blanket yang memberikan area yang luas untuk kontak Namun Kristaufan (2010) menyatakan semakin kecil kecepatan upflow atau semakin lama waktu detensi akan memberi peningkatan efisiensi penyisihan COD. di sisi lain menurut Ali *et al* (2007) penurunan kecepatan upflow memiliki 2 efek berlawanan yaitu dapat meningkatkan waktu kontak antara biomassa dan substrat sehingga penyisihan menjadi lebih baik; atau mengurangi pencampuran dalam reaktor dan mengganggu kontak antara biomassa

dan substrat. Alphenaar *et al* (1993) menyatakan peningkatan kecepatan upflow dapat meningkatkan gaya geser hidrolik yang memicu zat padat yang terperangkap dalam lumpur sehingga kinerja sistem turun, disamping itu dapat juga mempercepat tumbukan antara partikel tersuspensi dan lumpur yang meningkatkan efisiensi. Oleh karena itu secara kualitatif hasil penelitian pada variasi  $V_{up}$  dan konsentrasi influen untuk pengolahan *greywater* dengan UASB mempertegas penelitian sebelumnya yakni makin tinggi  $V_{up}$  maka makin rendah efisiensinya sebagaimana dinyatakan oleh Achmad (1999), Ali *et al* (2007); Yasser *et Tabinda* (2010), dan Kristaufan (2010).

### **3.3. Model Kinetika Pengolahan Limbah *Artificial*.**

Mempertimbangkan limbah *artificial* yang diolah pada UASB mengalir di dalam reaktor dengan arah sejajar dengan sumbu pipa dan tanpa dilakukan dengan pengadukan maka reaktor UASB dapat diasumsikan sebagai reaktor sistem *Plug flow reactor (PFR)* maka hasil penelitian dapat dimodelkan dalam bentuk model kinetika.

Sesuai variasi yang digunakan dalam operasional di laboratorium maka hasil penelitian dapat dimodelkan atas dasar konsentrasi influen yang masuk di dalam reaktor mulai pembebanan pada saat aklimatisasi 100% hingga running. Model kinetika memperhitungkan hubungan konsentrasi influen yang masuk dan konsentrasi efluen yang keluar untuk COD dan BOD pada reaktor UASB didasarkan atas 5 variasi konsentrasi. Model kinetika hubungan

influen dan efluen pengolahan dengan UASB ini secara umum dapat dijabarkan dalam bentuk model :

$$\text{COD}_x = \text{COD}_0 \cdot e^{-k \cdot t} \quad \text{dan} \quad \text{BOD}_x = \text{BOD}_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

Keterangan :

$\text{COD}_0$  = konsentrasi influen COD (mg/L);

$\text{COD}_x$  = konsentrasi efluen COD (mg/L);

$\text{BOD}_0$  = konsentrasi influen BOD (mg/L);

$\text{BOD}_x$  = konsentrasi efluen BOD (mg/L)

k = laju degradasi (1/jam);

t = waktu tinggal/HRT (jam).

Berdasarkan data hasil penelitian dan setelah dimodelkan secara matematis sesuai rumus di atas diperoleh model kinetika untuk penyisihan COD untuk konsentrasi tinggi (1160 mg/L-1480 mg/L) dan konsentrasi sedang tinggi (960 mg/L-1180 mg/L) yang memiliki kontanta laju degradasi sebesar 0,10 (1/jam). Sedangkan model kinetika untuk penyisihan COD pada konsentrasi Sedang (827 mg/L-880 mg/L) dan konsentrasi Rendah Sedang (200 mg/L-467 mg/L) kontanta laju degradasi diperoleh sebesar 0,09 (1/jam). Sebaliknya model kinetika untuk konsentrasi Rendah (133 mg/L-160 mg/L) memiliki kontanta laju degradasi sebesar 0,05 (1/jam). Secara keseluruhan model kinetika penyisihan COD tersebut memiliki dengan rentang nilai signifikansi berupa koefisien regresi  $R^2$  diantara



0,974-0,996 yang mendekati angka 1. Ini berarti secara signifikan model matematis kinetika dapat dipertanggung jawabkan.

Dari hasil pemodelan dapat ditarik kesimpulan untuk penyisihan COD bahwa semakin besar variasi *konsentrasi* maka semakin besar *konstanta degradasinya*. Semakin besar *konstanta degradasi* maka semakin besar *konsentrasi penyisihannya* sehingga efisiensi *penyisihannya* semakin baik pada variasi konsentrasi tertentu. Dari model juga diperoleh temuan bahwa semakin besar *konstanta degradasi* dan semakin lama *waktu tinggal (HRT)* akan meningkatkan kinerja pengolahan limbah *artificial* menggunakan UASB. Hal ini sesuai dengan penelitian Ali *et al* (2007) dan Nugrahini *dkk* (2008) yang menyatakan waktu tinggal yang lama dalam reaktor memberikan waktu yang lebih lama terhadap mikroorganisme untuk mendegradasi zat organik sehingga efluen yang dihasilkan akan lebih baik. Hasil penelitian juga sesuai dengan pernyataan Al-shayah et Mahmoud (2008) yang menyatakan kestabilan reaktor dalam menyisihkan konsentrasi COD akan tercapai seiring bertambahnya waktu.

Demikian juga untuk penyisihan BOD<sub>5</sub> setelah dimodelkan dengan nilai R<sup>2</sup> pada rentang 0,951-0,994 maka diperoleh data untuk penyisihan BOD<sub>5</sub> untuk konsentrasi tinggi (623,62 mg/L-721 mg/L) dan konsentrasi Rendah Sedang (297,02 mg/L-312,00 mg/L) memiliki konstanta laju degradasi sebesar 0,09 (1/jam). Sedangkan untuk penyisihan BOD pada konsentrasi Sedang (473,76 mg/L-518,11 mg/L) dan konsentrasi Sedang Tinggi (554,40 mg/L-643,10mg/L) konstanta laju degradasi sebesar 0,11 (1/jam). Serta untuk konsentrasi

rendah (87 mg/L-96,43 mg/L) konstanta laju degradasi sebesar 0,04 (1/jam).

Mengacu pada penyisihan COD bahwa semakin besar variasi *konsentrasi* maka semakin besar *konstanta degradasinya*. Semakin besar *konstanta degradasi* maka semakin besar *konsentrasi penyisihannya* sehingga *efisiensi penyisihannya* semakin baik pada variasi konsentrasi tertentu. Dari model juga diperoleh temuan bahwa semakin besar *konstanta degradasi* dan semakin lama *waktu tinggal (HRT)* akan meningkatkan kinerja pengolahan limbah *artificial* menggunakan UASB. Secara garis besar model kinetika penyisihan BOD<sub>5</sub> sama dengan penyisihan COD. Namun jika dilihat pada penyisihan BOD<sub>5</sub> pada konsentrasi tinggi terlihat nilai konstanta degradasi *k* sebesar 0,09 yang lebih kecil dari *k* sebesar 0,11 pada konsentrasi sedang tinggi. Hal ini diperkirakan akibat terjadinya anomali penelitian pada saat pengaturan debit yang tidak konstan pada hari ke 53 penyisihan BOD<sub>5</sub> sehingga aliran mengakibatkan turbulensi. Kondisi ini mengakibatkan waktu kontak air limbah dan lumpur menjadi menurun sehingga efisiensi penyisihan menurun. Hal ini sesuai pernyataan Farajzadehha *et al* (2012) yang menyatakan turbulensi aliran akan berakibat waktu kontak air limbah dan lumpur menurun sehingga kinerja penyisihan mengalami penurunan.

Walaupun demikian secara garis besar, hasil model sesuai dengan penelitian Ali *et al* (2007) dan Nugrahini *dkk* (2008) yang menyatakan waktu tinggal yang lama dalam reaktor memberikan waktu yang lebih lama terhadap mikroorganisme untuk mendegradasi

zat organik sehingga efluen yang dihasilkan akan lebih baik. Hasil penelitian juga sesuai dengan pernyataan Al-shayah *et* Mahmoud (2008) yang menyatakan kestabilan reaktor dalam menyisihkan konsentrasi COD akan tercapai seiring bertambahnya waktu.

Secara keseluruhan model kinetika penyisihan BOD tersebut memiliki dengan rentang nilai signifikansi berupa koefisien regresi  $R^2$  diantara 0,951-0,994 yang mendekati angka 1. Ini berarti secara signifikan model matematis kinetika dapat dipertanggungjawabkan. Sehingga secara keseluruhan model matematis dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 5:**  
**Model Kinetika Pengolahan Limbah *Artificial* menggunakan UASB**

No	Variasi	Model (mg/L)	R <sup>2</sup> Model	Laju degradasi (1/jam)
<b>A</b>	<b>Penyisihan COD</b>			
1	Konsentrasi Tinggi	$COD_x = 1422e^{-0,10.HRT}$	$R^2 = 0,991$	0,10
2	Konsentrasi Sedang Tinggi	$COD_x = 1131e^{-0,10.HRT}$	$R^2 = 0,996$	0,10
3	Konsentrasi Sedang	$COD_x = 788,0e^{-0,09.HRT}$	$R^2 = 0,974$	0,09
4	Konsentrasi Rendah Sedang	$COD_x = 552,1e^{-0,09.HRT}$	$R^2 = 0,994$	0,09
5	Konsentrasi Rendah	$COD_x = 154,6e^{-0,05.HRT}$	$R^2 = 0,981$	0,05

Tabel 5 (lanjutan)

No	Variasi	Model (mg/L)	R <sup>2</sup> Model	Laju degradasi (1/jam)
<b>B</b>	<b>Penyisihan BOD</b>			
1	Konsentrasi Tinggi	$BOD_x = 722,1e^{-0,09.HRT}$	R <sup>2</sup> = 0,981	0,09
2	Konsentrasi Sedang Tinggi	$BOD_x = 644,3e^{-0,11.HRT}$	R <sup>2</sup> = 0,987	0,11
3	Konsentrasi Sedang	$BOD_x = 490,4e^{-0,11.HRT}$	R <sup>2</sup> = 0,994	0,11
4	Konsentrasi Rendah Sedang	$BOD_x = 337,1e^{-0,09.HRT}$	R <sup>2</sup> = 0,951	0,09
5	Konsentrasi Rendah	$BOD_x = 96,25e^{-0,04.HRT}$	R <sup>2</sup> = 0,956	0,04

### 3.4. Kinerja Pengolahan *Greywater* Kota Semarang

Penelitian dengan menggunakan *greywater* dari Kawasan Pemukiman Kelurahan Gabahan Kecamatan Semarang Tengah Kota Semarang dilakukan sama dengan operasional penelitian limbah *artificial*. Penelitian dilakukan dengan variasi HRT 8 jam pada reaktor UASB berdiameter 10,61 cm; tinggi 100cm; tinggi lubang outlet 60 cm dan dioperasikan sistim triplo (3 reaktor) dan waktu seeding selama 10 hari yang lebih pendek dari masa *seeding* penelitian yang menggunakan *limbah artificial* hampir 43 hari. Guna mempertahankan operasional pada HRT 8 jam, maka selama operasional dilakukan tindakan pengendalian aliran ke atas dengan kontrol debit 0,6075 L/Jam selalu terjaga yang pengukurannya dilakukan sehari 2 kali pagi

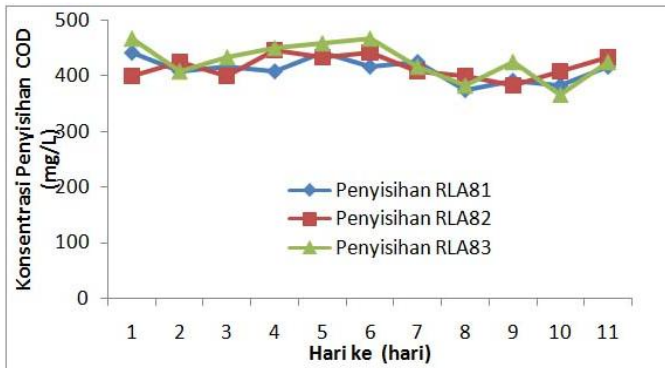
dan sore hari. Kebutuhan *greywater* asli setiap harinya 14,58 L setiap reaktornya sehingga kebutuhan perhari 43,74 L dibulatkan 45 L perhari. Untuk menjaga kesegaran *greywater* maka pemenuhan kebutuhan influen ini dilakukan untuk kapasitas 90 L yang ketersediaannya dilakukan selama selama kurun waktu 2 hari sekali. Untuk pengambilan sampel COD dan BOD<sub>5</sub> dilakukan setiap hari.

**a. Hasil dan Analisis Penyisihan COD *Greywater*.**

Reaktor dioperasikan pada HRT 8 jam dengan umpan *greywater* langsung dari kawasan Pemukiman Kelurahan Gabahan Kecamatan Semarang Tengah Kota Semarang setelah masa *seeding* selama 10 hari, sejak hari pertama dan ke dua sudah terlihat influen COD yang masuk ke ketiga reaktor cukup stabil. Hal ini terlihat penyisihan pada hari pertama cukup besar sekitar 400 mg/L-466 mg/L. Kondisi yang terjadi pada hari pertama pada semua reaktor disebabkan oleh proses kontak mikroorganisme dalam lumpur dan substrat berlangsung lebih sempurna dan berakibat meningkatkan laju pertumbuhan mikroorganisme anaerob (Grobicki and Stuckey, 1990). Namun pada hari ketiga terjadi kenaikan influen sekitar 41,66 mg/L. Hal ini dikarenakan pada hari ketiga dilakukan penambahan influen sehingga terjadi peningkatan konsentrasi influen. Secara umum pada hari ke-1,2 dan ke-3, pada reaktor RLA81 terjadi peningkatan konsentrasi efluen walaupun tidak signifikan untuk reaktor RLA81 dan RL83 namun RLA82 terjadi peningkatan konsentrasi efluen yang

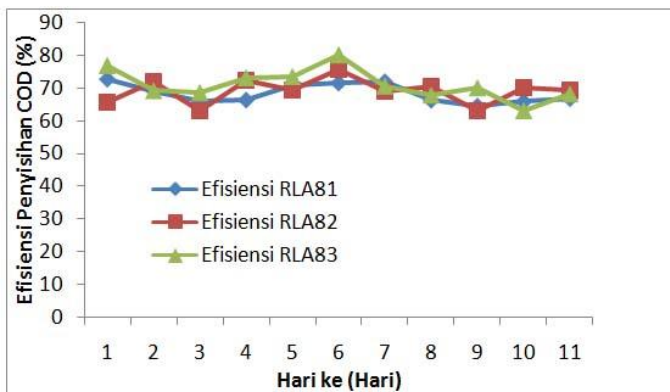
besar mendekati 70,00 mg/L. Kondisi RLA82 ini diakibatkan karena bakteri di dalam reaktor membutuhkan waktu kembali untuk beradaptasi dan bekerja menguraikan substrat. Hal ini sesuai pernyataan Al-Shayah et Mahmoud (2008) bahwa kestabilan reaktor dalam menyisihkan konsentrasi pencemar akan tercapai seiring dengan waktu. Kinerja reaktor yang baik ini didasarkan atas batasan pemilihan HRT 8 jam yang optimum pada penelitian menggunakan limbah *artificial*. Senada dengan pendapat Mahmoud *et al*, (2003), waktu detensi lebih dari 6 jam dapat meningkatkan penurunan COD.

Selanjutnya pada hari keempat kondisi efluen reaktor mengalami penurunan. Ini berarti terjadi peningkatan penyisihan COD pada semua reaktor. Pada hari kelima influen ditambahkan pada reaktor dan berakibat pada hari tersebut sedikit influen dan efluen meningkat. Walaupun pada hari ke-6 hingga hari ke-8 reaktor cukup stabil. Pada hari ke-9 dimana pada hari ini dilakukan penambahan influen, kinerja reaktor mengalami penurunan. Kondisi ini hampir sama dengan kondisi pada hari ke 3 dimana terlihat konsentrasi efluen RLA81 naik sekitar 15 mg/L dan RLA82 naik lebih dari 50 mg/L kecuali RLA83 yang konstan. Selanjutnya kondisi terulang pada hari ke-11 karena pada hari ini juga terjadi penambahan influen walaupun tidak sebesar pada hari ke-9. Secara keseluruhan kinerja reaktor cukup baik dengan prosentase penyisihan COD sebesar 68,23 % hingga 70,84%.



**Gambar 2 :**  
**Grafik Hubungan Penyisihan COD (mg/L) dan Waktu untuk Pengolahan**  
**Greywater Kelurahan Gabahan Kecamatan Semarang Tengah**

**Keterangan :** RLA81 : *greywater* reaktor UASB-1  
 RLA82 : *greywater* reaktor UASB-2  
 RLA83 : *greywater* reaktor UASB-3



**Gambar 3 :**  
**Grafik Hubungan Efisiensi Penyisihan COD (%) dan Waktu untuk**  
**Pengolahan *greywater* Kelurahan Gabahan**  
**Kecamatan Semarang Tengah**

Secara keseluruhan hasil dari pengolahan COD *greywater* asli adalah sebagaimana uraian di bawah ini.

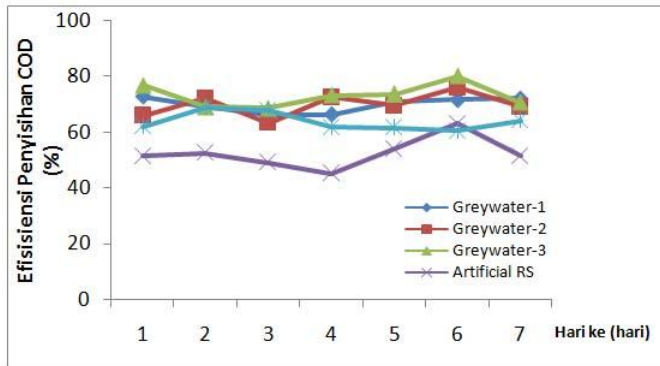
- Rerata influen diperoleh 603,03 mg/L (566,67 mg/L-633,33 mg/L); rerata efluen COD pada reaktor RLA81 sebesar 191,67 mg/L (166,67 mg/L-216,67 mg/L); untuk rerata efluen Reaktor RLA82 sebesar 186,74% (141,67 mg/L-233,33 mg/L) dan untuk rerata efluen COD Reaktor RLA83 sebesar 175,76 mg/L (116,67 mg/L-216,67 mg/L).
- Besarnya rerata konsentrasi penyisihan COD untuk reaktor RLA81 sebesar 411,36 mg/L (375,00 mg/L-441,67 mg/L); untuk rerata penyisihan COD untuk Reaktor RLA82 sebesar 416,29% (383,33 mg/L-445,83mg/L) dan untuk rerata penyisihan COD untuk Reaktor RLA83 sebesar 427,27 mg/L (366,67 mg/L-466,67mg/L)
- Berdasarkan hasil penelitian diperoleh rerata efisiensi penyisihan COD pada reaktor RLA81 sebesar 68,23% (64,38%-72,60%); untuk rerata efisiensi Reaktor RLA82 sebesar 69,09% (63,01%-75,71%) dan untuk rerata efisiensi penyisihan COD Reaktor RLA83 sebesar 70,84% (62,86%-80,00%).

Selanjutnya untuk melihat kinerja pengolahan *greywater* terhadap kinerja pengolahan air limbah *artificial* maka digunakan metode



grafik. Mempertimbangkan pada saat kondisi *running* pada penelitian limbah *artificial* selama 7 hari maka sebagai sampel dari pengolahan *greywater* diambil selama kurun waktu yang sama. Untuk pembanding digunakan variasi konsentrasi Rendah-Sedang dengan konsentrasi influen 558,10 mg/L (520 mg/L-587 mg/L) dan rerata efisiensi 52,16% (45,00%-62,79%). Pembanding lain yang digunakan adalah variasi konsentrasi Sedang dengan rerata konsentrasi influen sebesar 849,52 mg/L (827 mg/L-867 mg/L) dan rerata efisiensi sebesar 63,65% (60,32%-68,75%).

Berdasarkan gambar 4 terlihat pada hari ke-1 dan 2 serta hari ke-4 hingga ke-7 terlihat kinerja pengolahan *greywater* lebih baik dari kinerja variasi Rendah-Sedang dan konsentrasi Sedang. Khusus pada hari ke-3 untuk kinerja pengolahan limbah *artificial* lebih baik dari kinerja pengolahan *greywater*. Hal ini dikarenakan ada penambahan konsentrasi influen pada reaktor *greywater* sehingga mengakibatkan meningkatnya konsentrasi efluen *greywater*. Situasi ini mengakibatkan bakteri harus menyesuaikan diri kembali. Hal ini sesuai pernyataan Al-Shayah et Mahmoud (2008) bahwa kestabilan reaktor dalam menyisihkan konsentrasi pencemar akan tercapai seiring dengan waktu. Selanjutnya secara grafik dapat digambarkan sebagai gambar berikut :



**Gambar 4:**  
**Hubungan Efisiensi Pengolahan COD *Greywater* dan limbah *Artificial* pada konsentrasi Rendah-Sedang dan konsentrasi Sedang.**

**b. Hasil dan Analisis Penyisihan BOD<sub>5</sub> *Greywater***

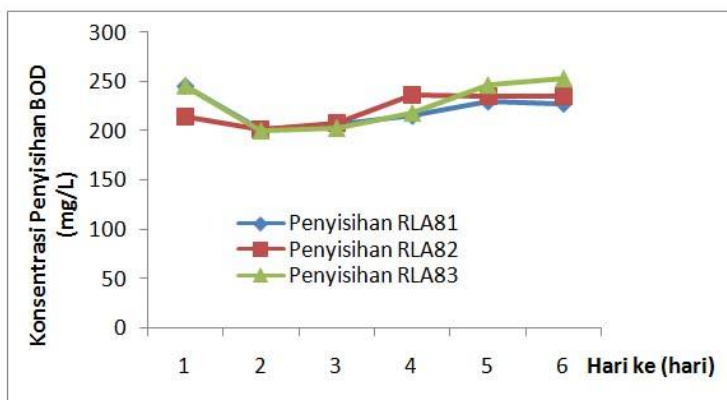
Hasil penelitian penyisihan BOD<sub>5</sub> sejak hari ke-1 hingga hari ke-6 memperlihatkan kestabilan walau sedikit fluktuasi namun tidak terlalu besar terutama pada influen. Sedangkan untuk efluen pada reaktor RLA81 dan RLA83 pada hari ke 1 dan 2 cukup konstan dan untuk RLA82 terlihat ada penurunan pada hari ke 2. Selanjutnya pada hari ke-3 dimana reaktor ditambah umpannya terjadi kenaikan efluen pada reaktor semua reaktor. Selanjutnya pada hari ke-4 hingga ke-6 terjadi fluktuasi efluen pada reaktor RLA82 dan RLA83 sedang reaktor RLA81 cukup stabil. Bila dibandingkan dengan COD pada hari ke-5 terjadi peningkatan influen dan efluen, maka pada BOD<sub>5</sub> penambahan influen tidak berakibat signifikan terhadap peningkatan konsentrasi influen dan efluen. Secara keseluruhan penyisihan BOD<sub>5</sub> cukup baik dan berkisar pada 200 mg/L-250 mg/L terutama pada hari

ke-6 yang mencapai puncak penyisihan BOD<sub>5</sub>. Hal ini sesuai pernyataan Al-Shayah *et* Mahmoud (2008) bahwa kestabilan reaktor dalam menyisihkan konsentrasi pencemar akan tercapai seiring dengan waktu. Walaupun demikian secara keseluruhan kinerja penyisihan BOD<sub>5</sub> hampir sama dengan kinerja penyisihan COD. Hasil penelitian mencatat rerata penyisihan dan efisiensi sebagai berikut :

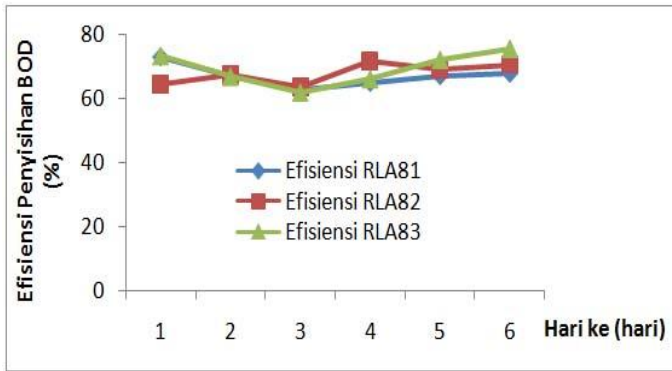
- Diperoleh rerata influen 328,44 mg/L (299,78 mg/L-341,57 mg/L); rerata efluen BOD<sub>5</sub> pada reaktor RLA81 sebesar 107,83 mg/L (90,60 mg/L-122,40 mg/L); untuk rerata efluen Reaktor RLA82 sebesar 106,07% (93,40 mg/L-120,40mg/L) dan untuk rerata efluen BOD<sub>5</sub> Reaktor RLA83 sebesar 100,70 mg/L (81,60 mg/L-125,80 mg/L).
- Rerata konsentrasi penyisihan BOD<sub>5</sub> untuk reaktor RLA81 sebesar 220,60 mg/L (201,38 mg/L-244,97 mg/L); untuk rerata penyisihan BOD<sub>5</sub> untuk Reaktor RLA82 sebesar 222,37mg/L (201,98mg/L-237,05mg/L) dan untuk rerata penyisihan BOD<sub>5</sub> untuk Reaktor RLA83 sebesar 227,74 mg/L (200,18 mg/L-253,08mg/L).
- Hasil penelitian mencatat rerata efisiensi penyisihan BOD<sub>5</sub> pada reaktor RLA81 sebesar 67,15% (62,75%-73,00%); untuk rerata efisiensi Reaktor RLA82 sebesar 67,69% (63,36%-71,74%) dan untuk rerata efisiensi penyisihan BOD<sub>5</sub> Reaktor RLA83 sebesar 69,25% (61,71%-75,62%).

Berdasarkan gambar 5 terlihat pula pada hari ke-1 dan 2 serta hari ke-4 hingga ke-7 terlihat kinerja pengolahan BOD<sub>5</sub> *greywater* lebih baik dari kinerja variasi Rendah-Sedang dan konsentrasi Sedang.

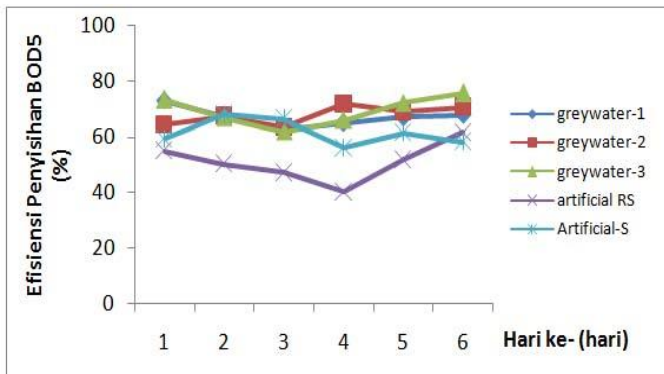
Khusus pada hari ke-3 untuk kinerja pengolahan limbah *artificial* lebih baik dari kinerja pengolahan *greywater*. Hal ini dikarenakan ada penambahan konsentrasi influen pada reaktor *greywater* sehingga mengakibatkan meningkatnya konsentrasi efluen *greywater*. Situasi ini mengakibatkan bakteri harus menyesuaikan diri kembali sehingga efisiensi menurun. Hal ini sesuai pernyataan Al-Shayah et Mahmoud (2008) bahwa kestabilan reaktor dalam menyisihkan konsentrasi pencemar akan tercapai seiring dengan waktu. Selanjutnya secara grafik dapat digambarkan sebagai gambar berikut :



**Gambar 5:**  
**Grafik Hubungan Penyisihan BOD<sub>5</sub> (mg/L) dan Waktu untuk**  
**Pengolahan *Greywater* Kelurahan Gabahan**  
**Kecamatan Semarang Tengah**



**Gambar 6:**  
**Grafik Hubungan Efisiensi Penyisihan BOD<sub>5</sub> (%) dan waktu untuk Pengolahan *Greywater* Kelurahan Gabahan Kecamatan Semarang Tengah**



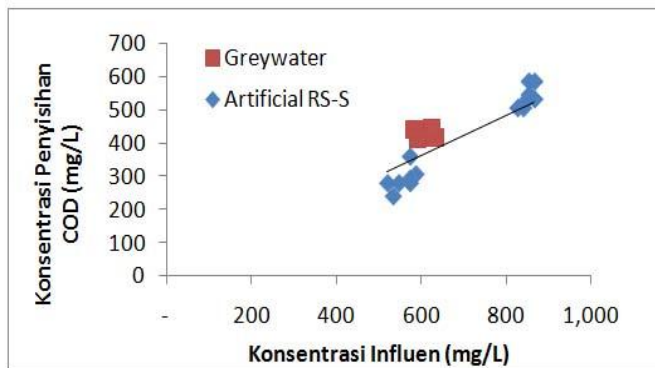
**Gambar 7 :**  
**Hubungan Efisiensi Pengolahan BOD<sub>5</sub> *Greywater* dan limbah *Artificial* pada konsentrasi Rendah-Sedang dan konsentrasi Sedang.**

### **c. Evaluasi Kinerja Pengolahan *Greywater* dan Limbah *Artificial*.**

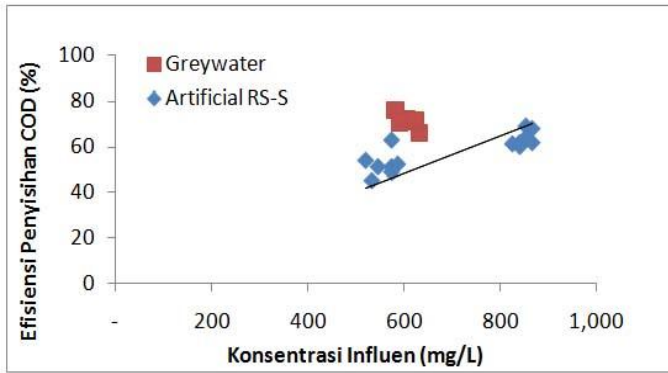
Secara keseluruhan dari hasil penelitian terhadap pengolahan *greywater* dan limbah *artificial* yang sudah dibahas di bagian sebelumnya perlu dibandingkan guna mengevaluasi kinerja pengolahan *greywater* Kelurahan Gabahan. Untuk itu digunakan metoda analisa statistik korelasi yang menghubungkan data nilai penyisihan dan efisiensi penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> pada penelitian menggunakan *greywater* dan *artificial*.

Dari uji korelasi menggunakan SPSS diperoleh hubungan penyisihan COD dan konsentrasi influen pada pengolahan *greywater* memiliki nilai korelasi Pearson yang lebih besar (0,904) dari pengolahan limbah *artificial* (0,707). Sehingga berdasarkan analisa statistik tersebut pengolahan *greywater* memiliki kinerja lebih baik dari pada pengolahan limbah *artificial*. Hal ini diperlihatkan dengan nilai koefisien korelasi rerata efisiensi penyisihan COD *greywater* 0,682 yang lebih besar dari pengolahan limbah *artificial* yang hanya sebesar 0,527. Di pihak lain, hubungan koefisien korelasi rerata penyisihan BOD<sub>5</sub> untuk *artificial* 0,81 lebih besar dari *greywater* yang hanya 0,707. Sedangkan koefisien korelasi rerata efisiensi penyisihan BOD<sub>5</sub> untuk limbah *artificial* 0,618 lebih besar dari koefisien korelasi efisiensi penyisihan untuk *greywater* 0,401. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dikatakan kinerja pengolahan *greywater* relatif "lebih baik" bila dibandingkan dengan dengan pengolahan limbah *artificial*. Lebih jauh dari data di atas disimpulkan pula bahwa

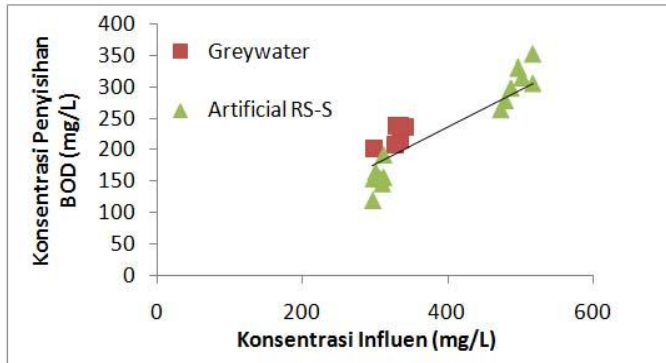
kinerja pengolahan *greywater* lebih baik dari *limbah artificial*. Bila dilihat secara keseluruhan hubungan korelasi antara penyisihan dan efisiensi penyisihan COD maupun untuk BOD<sub>5</sub> dapat di gambarkan dalam bentuk gambar diagram pencar. Secara visual dapat diperlihatkan bahwa kinerja penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> pengolahan *greywater* lebih baik dari pengolahan limbah *artificial* pada variasi konsentrasi *Rendah-Sedang*. Sebaliknya dari diagram pencar pula kinerja penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> pengolahan limbah *artificial* pada konsentrasi *Sedang* lebih baik dari kinerja pengolahan *greywater*.



**Gambar 8 :**  
**Hubungan Kinerja Konsentrasi Penyisihan COD (mg/L)**  
**Pengolahan *Greywater* dan Limbah *Artificial***

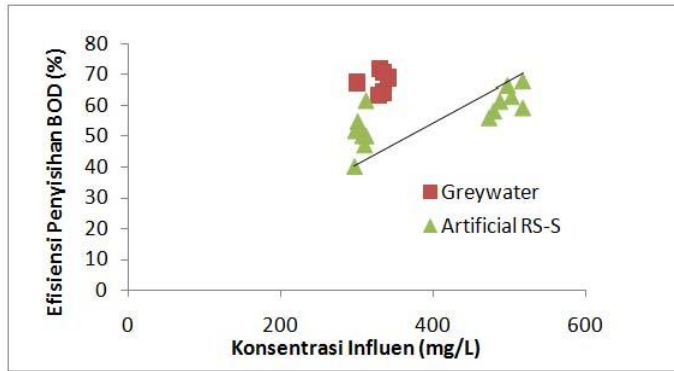


**Gambar 9:**  
**Hubungan Efisiensi Penyisihan COD (%)**  
**Pengolahan *Greywater* dan Limbah *Artificial***



**Gambar 10 :**  
**Hubungan Kinerja Konsentrasi Penyisihan BOD5 (mg/L)**  
**Pengolahan *Greywater* dan Limbah *Artificial***





**Gambar 11:**  
**Hubungan Efisiensi Penyisihan BOD5 (%)**  
**Pengolahan *Greywater* dan Limbah *Artificial***

### 3.6. Produktifitas Biogas akibat Penyisihan COD

Produktifitas biogas pada penggunaan UASB sebanding dengan besarnya konsentrasi penyisihan COD. Untuk konsentrasi tinggi rerata penyisihan sebesar 614,16mg/L COD menghasilkan biogas 40,70mL; pada konsentrasi sedang-tinggi menghasilkan biogas 25,16 mL dengan rerata penyisihan sebesar 444,67mg/L COD. Pada konsentrasi sedang dengan rerata penyisihan sebesar 385,91mg/L COD menghasilkan biogas 15,36 mL. Untuk konsentrasi rendah sedang dengan rerata penyisihan sebesar 241,17mg/L COD menghasilkan biogas 15,74 mL. Penelitian juga menghasilkan untuk konsentrasi rendah dengan rerata penyisihan sebesar 39,24mg/L COD menghasilkan biogas 5,76 mL. Secara keseluruhan per 1mg/L COD menghasilkan biogas sebesar 0,06 mL.

## **BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **4.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

- 1 Penanganan air limbah domestik di Kota Semarang untuk *blackwater dari toilet* langsung dialirkan menuju tangki septik dengan resapan di masing-masing rumah sebesar 92,45% dan sisanya 7,55% menggunakan fasilitas lain. Sedangkan untuk *greywater* yang berasal dari bak cuci, kamar mandi, buangan dapur, dan sebagainya atau bukan berasal dari toilet dibuang langsung ke saluran umum/sungai melalui saluran drainase (94,06%) dan diresapkan ke dalam tanah (5,94%) dengan besar rerata timbulannya 63 L/orang/hari untuk setiap penduduk Kota Semarang. Kandungan konsentrasi COD *greywater* Kota Semarang 155 mg/L-1400 mg/L dan rentang BOD<sub>5</sub> nya 125 mg/L-673 mg/L. Sehingga kandungan COD dan BOD<sub>5</sub> dapat disimpulkan berada di atas Baku Mutu sesuai Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah. Jika *greywater* tersebut dibuang ke jaringan drainase akan beresiko mencemari badan penerima air sekitar sebesar 0,98 - 8,8 g/orang/hari untuk COD dan 0,79 – 4,24 g/orang/hari untuk BOD<sub>5</sub>.
- 2 Hubungan antara efisiensi penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> dengan kapasitas hidrolis (*HRT*, debit, *V<sub>up</sub>* dan *HLR*) dan konsentrasi

influen adalah *HRT* semakin besar, kapasitas hidrolis lainnya (debit,  $V_{up}/HLR$ ) semakin kecil, maka efisiensi pengolahan semakin besar pada konsentrasi yang sama.

- 3 Efisiensi penyisihan COD maksimum sebesar 77,34% dan efisiensi maksimum untuk  $BOD_5$  sebesar 74,58% pada konsentrasi sedang dan *HRT* 12 jam. Sedangkan rentang efisiensi optimum penyisihan sebesar 38,02%-74,58% untuk  $BOD_5$  dan 39,71%-77,34% untuk COD pada pengolahan air limbah domestik tipe *greywater* menggunakan UASB untuk konsentrasi influen sebesar  $\pm 788$  mg/L.
- 4 Kinerja penyisihan COD dan  $BOD_5$  pengolahan *greywater* Kelurahan Gabahan Kota Semarang dengan *HRT* 8 jam lebih baik dari variasi konsentrasi Rendah-Sedang pengolahan limbah *artificial*. Sebaliknya kinerja penyisihan COD dan  $BOD_5$  pengolahan limbah *artificial* dengan *HRT* 8 jam pada konsentrasi Sedang lebih baik dari kinerja pengolahan *greywater* Kelurahan Gabahan Kota Semarang dengan *HRT* yang sama.

Produktifitas biogas pada penggunaan UASB sebanding dengan besarnya konsentrasi penyisihan COD. Untuk konsentrasi tinggi rerata penyisihan sebesar 614,16mg/L COD menghasilkan biogas 40,70mL; pada konsentrasi sedang-tinggi menghasilkan biogas 25,16 mL dengan rerata penyisihan sebesar 444,67mg/L COD. Pada konsentrasi sedang dengan rerata penyisihan sebesar 385,91mg/L COD menghasilkan biogas 15,36 mL. Untuk konsentrasi rendah sedang dengan rerata penyisihan sebesar

241,17mg/L COD menghasilkan biogas 15,74 mL. Penelitian juga menghasilkan untuk konsentrasi rendah dengan rerata penyisihan sebesar 39,24mg/L COD menghasilkan biogas 5,76 mL. Secara keseluruhan per 1 mg/L COD menghasilkan biogas sebesar 0,06 mL.

#### **4.2. Saran**

Saran-saran yang diajukan berdasarkan kesimpulan penelitian disertasi ini adalah sebagai berikut :

1. Pelaksanaan Penerapan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik untuk pengembangan kawasan permukiman perlu ditingkatkan misalnya dengan memasukkan di dalam prosedur perijinan membangun kawasan permukiman bagi pengembang dan surat ijin mendirikan bangunan bagi masyarakat yang akan membangun rumah dan sejenisnya.
2. Kinerja teknologi pengolahan air limbah UASB dapat dijadikan salah satu solusi bagi para pihak yang akan membangun perumahan, apartemen, perhotelan dan sejenisnya dalam rangka ikut serta melakukan pengelolaan lingkungan dan pengendalian kerusakan lingkungan terutama perairan umum sebagai perwujudan amanah Undang-undang Pengelolaan dan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 32 tahun 2008.
3. Dalam rangka pengembangan keilmuan selaras kebutuhan penanganan limbah domestik perlu dilakukan penelitian lebih

lanjut pengolahan limbah domestik tipe *greywater* menggunakan reaktor UASB terkait efisiensi berdasarkan atas stratifikasi penyisihan COD dan BOD sepanjang struktur kolom reaktor UASB sehingga dapat ditentukan ketinggian kolom sesuai kebutuhan praktis di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahزاب Muttaqien, Syafrudin, Ganjar Samudro, 2012, *Studi Pengaruh Upflow Velocity dan Organic Loading Rate terhadap Penurunan BOD, COD, dan TSS limbah cair Artificial Blackwater menggunakan Reaktor UASB*, ejournal-S1.undip.ac.id,
- Aiyuk, Sunny, Philip Odonkor, Nkoebe Theko, Adrianus van Haandel, dan Willy Verstraete. 2010. *Technical Problems Ensuing From UASB Reactor Application in Domestic Wastewater Treatment without Pre-Treatment*. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 1, No. 5, December 2010.
- Alaerts, G. dan Santika, Sri Sumestri. 1984. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional: Surabaya.
- Alaerts, G.J *et al*, 1990 *Feasibility of Anaerobic Sewage Treatment in Sanitation Strategies Developing Countries*, IHE, Report Series 20, Delft, The Netherland
- Ali, Manal, Rashed Al-Sa'ed, and Nidal Mahmoud. 2007. *Start-Up Phase Assessment of A UASB–Septic Tank System Treating Domestic Septage*. The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 32, No. 1 C.
- Alphenaar, P. A., A. Visser, and G. Lettinga. 1993. *The Effect of Liquid Upward Velocity and Hydraulic Retention Time on Granulation in UASB Reactors Treating Wastewater with High Sulphate Content*. Biosource Technology, 43, 249.

- Al-Shayah, Mohammad and Mahmoud, Nidal. 2008. *Start-Up of An UASB-Septic Tank for Community On-Site Treatment of Strong Domestic Sewage*. Bioresource Technology 99, 7758–7766. Elsevier.
- Andrews and Graef, 1970, *Wastewater Technology Fact Sheet*, United States Environmental Agency.
- Anh, Nguyen Tuan, 2004, *Methods for UASB Reactor Desain*, Guest Article by Nguyen Tuan Anh.
- Anif Rizqianti Hariz, Syafrudin, Sudarno, 2012, *Pengaruh Kecepatan Upflow dan Konsentrasi Influen Terhadap Penyisihan BOD5, COD, dan TSS pada Pengolahan Air Limbah Domestik Campuran (Greywater dan Black Water ) menggunakan Reaktor UASB*, ejournal-S1.undip.ac.id,
- Anonim, 2003, *Baku Mutu Air Limbah*, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, Nomor 112 tahun 2003.
- Anonim, 2004, *Baku Mutu Air Limbah*, Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah, Nomor 10 Tahun 2004.
- Ardina Sita Ningrum, Syafrudin, Sudarno, 2012, *Pengaruh Hydraulic Loading Rate (HLR) dan konsentrasi Influen Terhadap Penyisihan BOD,COD dan NO3 serta N pada pengolahan air limbah Domestik Campuran (Greywater dan Black Water ) menggunakan Reaktor UASB*, ejournal-S1.undip.ac.id,
- Asmadi, Suharno, 2012, *Dasar Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah* , Gosyen Publishing, Yogyakarta.
- Aslan, Sibel and Sekerdag, Nusret. 2008. *The Performance of UASB Reactors Treating High-Strength Wastewaters*. Journal of Environmental Health. FindArticles.com

- Azimi, A. A. and Zamanzadeh, M.. 2004. *Determination of Design Criteria for UASB Reactors as a Wastewater Pretreatment System in Tropical Small Communities*. Int. J. Environ. Sci. Tech. Vol. 1, No. 1, pp. 51-57, Spring.
- Boyd, C.E, 1990, *Water Quality in Ponds for Aquaculture*, Alabama Agricultural Experimentation, Auburn University, Alabama.
- Chong, Siewhui, Tushar Kanti Sen, Ahmet Kayaalp, and Ha Ming Ang. 2012. *The Performance Enhancements of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors for Domestic Sludge Treatment – A State-of-the-art review*. Water Research, Volume 46, Issue 11, July 2012, Pages 3434–3470.
- C.Trihendradi, 2013, *Langkah Praktis Menguasai Statistik untuk Ilmu Sosial dan Kesehatan, Konsep dan Penerapannya menggunakan SPSS*, Penerbit Andi , Yogyakarta.
- Clark, R. M. and Speece, R. E. 1971. *The pH Tolerance of Anaerobic Digestion*. Advances in Water Pollution Research II-27/1 to 14.
- Davis, M. L.. 2010. *Water and Wastewater Engineering; Design Principles and Practice*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Davis, M. L. dan Cornwell, D. A.. 2008. *Introduction to Environmental Engineering*. McGraw-Hill, New York. p. 456.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. *Pedoman Pengelolaan Air Limbah Perkotaan*. Direktorat Jenderal Tata Perkotaan dan Tata Pedesaan.
- De Zeeuw WJ Granulair Sludge in UASB reactor, In Lettinga G, Zehnder AJB, Grotenhuis JTC, hulshoff Pol LW, Editor, 1987, *Granulair Anaerobic Sludge; Microbiology and Technology The Netherland*, Pudoc Wageningen.

- Ditto Himawan, Syafrudin, Ganjar Samudro, 2012, *Studi Pengaruh Volumetric Loading Rate dan Upflow Velocity Terhadap Penurunan Parameter BOD, COD, TSS, dan Nitrat Limbah Cair artificial Blackwater menggunakan reaktor UASB*, ejournal-S1.undip.ac.id.
- Droste, R.L, 1997, *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, New York
- Duncan, Mara D, 1976, *Sewage Treatment in Hot Climates*, Department of Civil Engineering University of Dundee Scotlandia.
- Eckenfelder, W. W., J. B. Patoczka, dan G. W. Pulliam. 1998. *Anaerobic Treatment Versus Aerobic Treatment in the U.S.A.*
- Effendi, H, 2003, *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Kanisius, Yogyakarta.
- El-Gohary, Fatma A., Hala M. El-Kamah, dan Sabah A. Badr. 2008. *Post Treatment of UASB Reactor Effluent in an Integrated Duckweed and Stabilization Pond System for Treating of Domestic Wastewater*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2 (4): 1345-1355.
- El-Shafai, Saber A., Fatma A. El-Gohary, Fayza A. Nasr, N. Peter van der Steen, Huub J. Gijzen. 2007. *Nutrient Recovery From Domestic Wastewater Using A UASB-Duckweed Ponds System*. Bioresource Technology 98, 798–807.
- El-Sheikh, Mahmoud A., Hazem I. Saleh, Joeseoph R. Flora, Mahmoud R. AbdEl-Ghany. 2011. *Biological Tannery Wastewater Treatment Using Two Stage UASB Reactors*. Desalination 276, 253 –259.
- Eriksson, Eva, Karina Auffarth, Mogens Henze, dan Anna Ledin. 2002. *Characteristics of Grey Wastewater*. Urban Water 4, 85-104.



- Fauzia Rahmiyati Y, Syafrudin, Ganjar Samudro, 2012, *Studi Pengaruh Variasi Debit dan Konsentrasi terhadap Penurunan BOD, COD, TSS dan Nitrat Air Limbah Artificial Campuran Greywater dan Blackwater dengan UASB*, ejournal-S1.undip.ac.id,
- Gerardi, Michael. H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digester* Wiley-Interscience: New Jersey.
- Gerardi, Michael. H. 2006. *Wastewater Bacteria*. Wiley-Interscience: New Jersey.
- Ginting, Perdana. 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Cetakan Pertama, Bandung, Yrama Widya.
- Grady, C. P. L. dan Lim, Henry. C., 1980. *Biological Waste Water Treatment*. Marcel Dekker, Inc.: New York.
- Grobicki A., D.C. Stuckey (1990). *Performance of the Anaerobic Baffled Reactor Under Steady-State and Shock Loading Conditions*. Biotechnology and Bioengineering.
- Haandel, A.C van, Lettinga, G, 1994, *Anaerobic Sewage Treatment, A practical Guide for Regions with a Hot Climate*, John Wiley & Son Ltd, Chichester, England.
- Haandel, A.C van. 2006. *Anaerobic Reactor Design Concepts for the Treatment of Domestic Wastewater*. Rev. Environ. Sci. Bio/Technol, p. 5-21.
- Halalshah, M., Z. Sawajneh, M. Zu'bi, G. Zeeman, J. Lier, M. Fayyad, dan G. Lettinga. 2005. *Treatment of Strong Domestic Sewage in a 96 m<sup>3</sup> UASB Reactor Operated in Ambient Temperatures : Two-Stage versus Single-Stage Reactor*. Biosource Technology 96, 577-585.
- Handoko Riwidikdo, S.KP, 2009, *Statistik untuk Penelitian Kesehatan dengan Aplikasi Program R dan SPSS*, Cetakan Pertama, Pustaka Rihama, Yogyakarta.

- Hammer, Mark J, Mark J Hammer, Jr, 2008, *Water and Wastewater Technology (6<sup>th</sup> edition)*, New Jersey, Perason, Prentice Hall.
- Hasanah, H. 2011. *Penurunan Beban Pencemar Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Melalui Digester Anaerob*. Institut Pertanian Bogor : Bandung.
- Henze, M. dan Ledin A. 2001. *Types, Characteristics and Quantities of Classic Combined Wastewaters*, dalam : P. Lens, G. Zeeman, G. Lettinga. *Decentralised Sanitation and Reuse* IWA Publishing, UK, pp. 57-72.
- Herald, D, 2010, *Effect of Ratio of Reaction Time to Stabilization Time in Organic Compound Removal from Palm Oil industry Wastewater in Aerobic Sequencing Batch Reactor*, Teknik Lingkungan Andalas, Padang.
- Husin, Amir, 2008, *Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Biofiltrasi, Anaerob dalam Reaktor Fixed Bed*, Sekolah Pasca Sarjana , USU, Medan.
- Indriani, Tika dan Herumurti, Welly, 2007, *Studi Efisiensi Paket Pengolahan Greywater Model Kombinasi ABR-Anaero Filter*, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS 10 Nopember, Surabaya.
- Kooijmans, L, Lettinga, R Parra, 1985, *The UASB Process for Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*, Journal of The Institution of Water Engineers and Scientists.
- Kosaric, N., Blaszczyk, R., & Orphan, L, 1990, *Factors Influencing formation and Maintenance of Granules in UASB reactor*, Water Sciences Technology.
- Kristaufan J.P, Sri Purwati, Yusup Setiawan, 2010, *Pengolahan Air Limbah Industri Kertas Karton dengan Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*, Water Science Technology.

- Leal, Lucia Hernandez, Hardy Temmink, Gritje Zeeman, dan Cees J. N. Buisman. 2010. *Comparison of Three Systems for Biological Greywater Treatment*. Water 2010, 2, 155-169. [www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water)
- Lettinga, G. dan 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.
- Lew, B., S. Tarre, M. Belavski, dan M. Green. 2004. *UASB Reactor for Domestic Wastewater Treatment at Low Temperatures: A Comparison Between A Classical UASB and Hybrid UASB-Filter Reactor*. Water Science and Technology Vol 49 No 11–12 pp 295–301. IWA.
- Mahmoud, N., G. Zeeman, H. Gijzen, dan G. Lettinga. 2003. *Solids Removal in Upflow Anaerobic Reactors, A review*. Biosource Technology, 90: 1-9.
- Manurung, Renita. 2004. *Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit*. e-USU Repository, Universitas Sumatera Utara.
- Metcalf & Eddy, Inc, 1991, *Wastewater Engineering Treatment , Disposal, and Reuse*, Third edition, McGraw Hill, Inc, New York.
- Moussavi, Gholamreza, Frarough Kazembeigi, dan Mehdi Farzadkia. 2010. *Performance of a Pilot Scale Up-flow Septic Tank for On-site Decentralized Treatment of Residential Wastewater*. Process Safety and Environmental Protection 88, 47-52.
- Mukminin, Amirul, Wignyanto, dan Nur Hidayat. 2012. *Perencanaan Unit Pengolahan Limbah Cair Tapioka dengan Sistem Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) untuk Industri Skala Menengah*. Jurnal Teknik Pertanian Vol. 4 (2), 91-107.

- Nugrahini, Panca, T. M. Rizki Habibi, dan Anita Dwi Safitri. 2008. *Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung.
- Nur Syarafina, Syafrudin, Ganjar Samudro, 2011, *Studi Penurunan BOD,COD, dan Phosphat limbah cair Domestik menggunakan Reaktor UASB, Campuran (Greywater dan Black Water) menggunakan Reaktor UASB*, [ejournal-S1.undip.ac.id](http://ejournal-S1.undip.ac.id),
- Panikkar, Avanish K., Susan A. Okalebo, Steven J. Riley, Surendra P. Shrestha, dan Yung-Tse Hung. 2010. *Total Treatment of Black and Grey Water for Rural Communities*. Humana Press : London.
- Purwanto, 2002, *Pemodelan Rekayasa Lingkungan*, BP Undip, Semarang.
- Qoriah Qur'ani A, Syafrudin, Ganjar Samudro, 2011, *Studi Penurunan BOD,COD, dan Nitrat (N-NO3) limbah cair Domestik menggunakan Reaktor UASB, Campuran (Greywater dan Black Water) menggunakan Reaktor UASB*, [ejournal-S1.undip.ac.id](http://ejournal-S1.undip.ac.id),
- Reynold, T.D., Richard, P.L., 1996, *Unit Operations and Process in Environmental Engineering*, Second Edition, Singapore, PWS Publishing Company.
- Rendy Ragil R, Syafrudin, Sudarno, 2013, *Studi Pengaruh Variasi Hydraulic Loading Rate (HLR) dan Konsentrasi Influen terhadap Penurunan BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Domestik menggunakan Reaktor UASB*, [ejournal-S1.undip.ac.id](http://ejournal-S1.undip.ac.id),
- Rizky Primayekti, Syafrudin, Ganjar samudro, 2011, *Studi Penurunan BOD,COD, dan TSS limbah cair Domestik menggunakan Reaktor UASB, Campuran (Greywater dan Black Water) menggunakan Reaktor UASB*, [ejournal-S1.undip.ac.id](http://ejournal-S1.undip.ac.id),

- Rittmann, B. E. dan McCarty, P. L.. 2001. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill, Boston, Massachusetts, pp. 13–36, 293.
- Said, N.I, 2000, *Pengolahan Air limbah Rumah Sakit dengan Proses Biologis Biakan Melekat menggunakan Media Plastik Sarang Tawon*, Jurnal Teknik Lingkungan Volume 2 Nomor 3, Jakarta.
- Sasse, L., 1998, *Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries*, Bremen Overseas Research and Development Association(BORDA), Bremen Germany.
- Shuler, M.L., Kargi F,1992, *Bioprocess Engineering*, Prentice Hall Inc, USA
- Soetopo, Rina S., Sri Purwati, Yusup Setiawan, dan Krisna Adhitya Wardhana. 2011. *Efektivitas Proses Kontinyu Digestasi Anaerobik Dua Tahap Pada Pengolahan Lumpur Biologi Industri Kertas*. Jurnal Riset Industri Vol. V, No.2, Tahun 2011, Hal 131-142.
- Speece, R. E.. 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Archae Press, Nashville, TN.
- Sterritt, R. M. dan Lester, J. N.. 1988. *Mycrobiology for Environmental and Public Health Engineers*. E&F. N. Spon Ltd. London.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. UI Press : Jakarta.
- Suriadi, Endang. 1997. *Pengaruh Konsentrasi COD Terhadap Efektivitas Pengolahan Air Limbah Secara UASB*. Bulletin Penelitian, April 1997, Vol. XIX, No. 1.
- Syafila, Mindriany, Asis H. Djajadiningrat, dan Marisa Handajani. 2003. *Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Molase*. PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 35 A, No. 1, 2003, 19-31.

- Tawfik, A., El-Gohary., Temmik, H., 2010, *Treatment of Domestic Wastewater in An UASB reactor followed by Moving Bed Biofilm Reactor*, Biosystem Engineering,
- Tchobanoglous, George, Franklin L. Burton, dan David H. Stensel. 2003. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Book Co: Singapore.
- Tebbut, T.H., 1977, *Principle of Water Quality Control, 2nd Edition* University of Birmingham, England.
- Waluyo, L, 2004, *Mikrobiologi Umum*, Penerbit Universitas Muhammadiyah Press, Malang.
- Wardana, W.A, 2005, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Wendland, C, 2008, *Anaerobic Digestion of Blackwater and Kitchen Refuse*, Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerchutz, Hamburg
- Widayanto K E Y A, Syafrudin, Sudarno, 2013, *Studi Pengaruh Variasi Debit Terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD dan TSS Limbah Cair Domestik Blackwater Menggunakan Reaktor UASB*, ejournal-S1.undip.ac.id,
- Wu We-min, Hu Ji-Cui, Gu Xia-Sheng, 1985, *Properties Granular Sludge in UASB Reactor and Its Formation*, Proceeding of The fourth International Symposium on Anaerobic Digestion, Guan Zhou, China
- Yu, H.Q., Fang, H.H.P., Tay, J.H., 2000, *Effect of Fe<sup>2+</sup> on Sludge Granulation in UASB Reactor*, Water Science Technology, Vol 41(12).

Yasar, Abdullah dan Tabinda, Amtul Bari. 2010. *Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater by UASB Reactor Integrated with Chemical Oxidation Processes; an Overview*. Polish J. of Environmental Study Vol. 19, No. 5 (2010), 1051-1061. <http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/wasteWater/Lec>

## RIWAYAT HIDUP PENULIS

- Nama : **IR. SYAFRUDIN, CES, MT**
- Tempat/tanggal lahir : Pekalongan, 7 November 1958
- NIP : 195811071988031001
- Pangkat/Golongan : Lektor Kepala/IVb
- Alamat : Jl. Puspowarno Tengah II/7 Semarang Telp.  
024-7606615 HP 08122849936
- Status : Menikah
- Pekerjaan : Ketua Jurusan/Dosen Jurusan Teknik  
Lingkungan Fakultas Teknik Universitas  
Diponegoro
- Pendidikan : - S1 Teknik Sipil FT Undip, 1987  
- S2 Teknik Lingkungan Entpe Lyon,  
Perancis, 1991  
- S2 Teknik Lingkungan ITB, 1994
- Pengalaman : - Advisor IBRD P3KT SWIP 1987-1989  
untuk Jawa Tengah  
- Anggota Pokja AMPL Prov. Jateng  
- Konsultan Sanitasi, 1994-sekarang  
- Anggota Peneliti Puslit Lingkungan Hidup  
Universitas Diponegoro
- Foto diri :

