

Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Teknologi Biofilm dengan Media Potongan Bambu untuk Penurunan Kadar Deterjen, COD, BOD, dan Amonia

Saddam Husein
Program Teknik Lingkungan Fakultas Teknik
Universitas Satya Negara Indonesia

Abstract

Increasing the amount of domestic waste water which is not balanced by the increase in receiving water bodies both in terms of capacity and quality, causes the amount of waste water entering the water body to exceed the carrying capacity and carrying capacity. Then domestic wastewater in the residential environment for the future has the potential to become a fairly serious threat to pollution of the aquatic environment. Based on the results of the study it was found that the percentage of pollutant levels decreased against exponentially tested parameters with the incubation period. The greatest effectiveness occurred at the incubation time on the second day, decreasing detergent content from 34.88 mg / L to 8.10 mg / L with the reactor effectiveness value of 76.78%. COD levels decreased from 310.77 mg / L to 60.37 mg / L with a reactor effectiveness value of 80.57%. BOD levels decreased from 282.55 mg / L to 50.32 mg / L with a reactor effectiveness value of 82.19% and a decrease in ammonia content from 157.77 mg / L which was 53.81 mg / L with a reactor effectiveness value of 65.89%.

Keywords: Domestic waste, detergent, COD, BOD, Ammonia, Biofilm, and Pseudomonas putida

PENDAHULUAN

Berdasarkan tingkat kepadatan penduduk dan laju pertumbuhan penduduk di Indonesia, maka air limbah domestik dilingkungan pemukiman untuk masa yang akan datang potensial menjadi ancaman yang cukup serius terhadap pencemaran lingkungan perairan.

Kegiatan domestik seperti rumah tangga (pemukiman) menghasilkan buangan berupa air limbah. Air limbah domestik merupakan salah satu sumber pencemar terbesar bagi perairan. Tingginya kandungan bahan organik dalam air limbah domestik meningkatkan pencemaran pada badan air penerima. Semakin meningkatnya pencemaran dapat menurunkan derajat kesehatan masyarakat (Waluya, 2005). Salah satu upaya yang dapat ditempuh dalam meminimalisir dampak yang ditimbulkan oleh air limbah domestik secara sederhana dan cepat serta memberikan manfaat ekonomis bagi lingkungan dilokasi penelitian adalah melakukan proses pengolahan dengan menggunakan teknologi biofilm.

Biofilm

Biofilm adalah suatu istilah yang digunakan untuk menggambarkan suatu lingkungan kehidupan yang khusus dari sekelompok mikroorganisme, yang melekat ke suatu permukaan padat dalam lingkungan perairan. Hal ini menjadi mikrolingkungan yang unik dimana mikroorganisme dalam biofilm berbeda secara struktural maupun fungsional dengan yang hidup bebas (planktonik) (Donlan, 2002). Reaktor Biofilm dibuat dari bahan fiber glas (FRP) dan dibuat dalam bentuk kotak dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 40 cm dan tinggi 50 cm. Ruangannya di dalam alat tersebut dibagi menjadi beberapa zona yakni ruangan pengendapan awal, zona biofilm aerob dan ruangan pengendapan akhir. Media yang digunakan untuk biofilm adalah potongan bambu dengan ukuran panjang 30 cm. Selain itu, air limbah yang ada di dalam zona aerob sebagian disirkulasi ke zona awal dengan menggunakan pompa sirkulasi. Hasil penelitian sebelumnya tentang biofilter sarang tawon pada

limbah rumah sakit dapat menghilangkan parameter polutan untuk COD 87-98,6% ; BOD₅ 93,4-99,3% ; TSS 80-97,8% , Ammonia 93,75% ; Deterjen 95-99,7% (Said, 2001).

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental dengan mengolah limbah domestik menggunakan rancangan yang telah disusun, yaitu reaktor biofilm media potongan bambu. Pengolahan dilakukan dengan cara menjenuhkan limbah domestik pada reaktor biofilm media potongan bambu dengan waktu yang telah ditentukan, kemudian menganalisis limbah terhadap parameter deterjen, Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD), Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD), dan Amonia.

Penelitian ini terbagi atas dua tahapan. Tahapan pertama adalah persiapan reaktor biofilm media potongan bambu, serta tahapan kedua adalah penumbuhan biofilm pada reaktor biofilm media potongan bambu.

Data yang dianalisis

- a Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengujian awal terhadap konsentrasi deterjen, KOK, KOB dan Amonia.
- b Proses sampling dilakukan tiga kali pengulangan pada 2, 4, 6, dan 8 hari waktu inkubasi (lama waktu degradasi) pada reaktor biofilm, lalu dilakukan analisis kadar deterjen, COD, BOD dan Amonia pada limbah domestik.
- c Titik sampling air limbah dilakukan pada outlet biofilm media bambu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektifitas reaktor biofilm media potongan bambu dengan menambahkan bakteri *Pseudomonas putida*. Dalam mereduksi kadar surfaktan, Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD), Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD), dan Amonia. Titik pengambilan sampel air limbah dilakukan pada sebelum pengolahan (inlet) dan keluaran (outlet) reaktor biofilm media potongan bambu dengan waktu degradasi (masa inkubasi) 2, 4, 6, dan 8 hari.

Hasil pengujian awal limbah sebelum dimasukkan ke dalam reaktor biofilm media potongan bambu dapat dilihat pada table sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis Pengujian Limbah Domestik Sebelum Diolah.

No	Parameter Uji	Hasil (mg/l)
1	Surfaktan	34,8
2	Kebutuhan Oksigen Kimiawi	310
3	Kebutuhan Oksigen Biologis	282
4	Amonia	157

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data, maka diperoleh hasil efektifitas penurunan kadar surfaktan, Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD), Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD), dan Amonia pada limbah domestik dengan menggunakan reaktor biofilm sebagai berikut:

Surfaktan Limbah Domestik

Pada penelitian ini, pengujian kadar surfaktan dilakukan pada hari ke-0 (sebelum pengolahan), hari ke-2, hari ke-4, hari ke-6 dan hari ke-8. Sampling dilakukan pada limbah domestik sebelum pengolahan (inlet) dan outlet reaktor biofilm. Pengujian kadar surfaktan dalam limbah domestik hasil analisis laboratorium dapat dilihat pada table 2. dan nilai efektifitas penurunan kadar surfaktan menggunakan reaktor biofilm dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Surfaktan.

Parameter	Ulangan	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
		0	2	4	6	8
Surfaktan	1	34,80	8,10	5,82	2,98	1,59
	2	35,03	8,12	5,78	3,00	2,00
	3	34,82	8,09	5,80	2,98	2,00
	Rata - rata (mg/l)	34,88	8,10	5,80	2,98	1,86

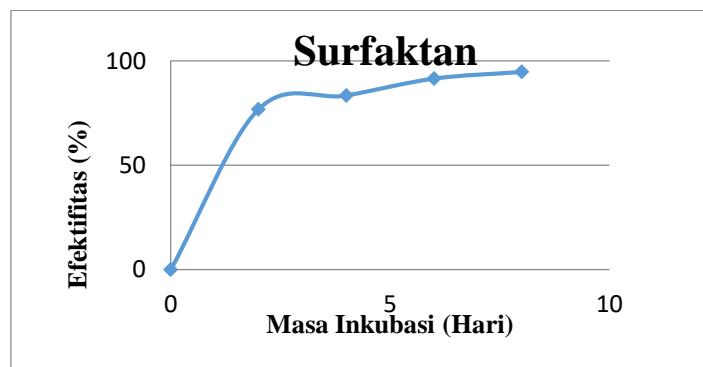
Tabel 3. Nilai Efektifitas Penurunan Kadar Surfaktan.

Surfaktan	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
	0	2	4	6	8
Outlet biofilm (mg/l)	34,88	8,10	5,80	2,98	1,86
Efektifitas (%)		76,78	83,37	91,46	94,67

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Dimana :

- E = Uji Efektifitas
- C₀ = Kadar Sebelum Pengolahan
- C₁ = Kadar Setelah Pengolahan



Gambar 1. Nilai Efektifitas Reaktor Terhadap Penurunan Kadar Surfaktan

Tabel 2 dan Tabel 3 hasil pengujian kadar surfaktan sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan biofilm di peroleh kadar sebesar 34,88 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan terhadap limbah domestik menggunakan reaktor biofilm pada masa inkubasi hari ke-2, diperoleh kadar surfaktan sebesar 8,10 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar surfaktan sebesar 76,78%, pada masa inkubasi hari ke-4, diperoleh kadar surfaktan, sebesar 5,80 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar surfaktan sebesar 83,37%, pada masa inkubasi hari ke-6, diperoleh kadar surfaktan, sebesar 2,98 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar surfaktan sebesar 91,46%, pada masa inkubasi hari ke-8, diperoleh kadar surfaktan, sebesar 1,86 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar surfaktan sebesar 94,67%.

Tabel 4. Hasil Analisis Sidik Ragam Surfaktan

Sumber keragaman	db	JK	Varian (Ragam)	Fhit	Ftabel	
					0,05	0,01
Antar Kolom	1	2259,49	2259,49	201096,02	4,67	9,07
Sisaan	13	0,15	0,011			
	14	2259,64				

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam perlakuan masa inkubasi terhadap kadar surfaktan, maka perlakuan masa inkubasi mempengaruhi atau berbeda nyata terhadap penurunan hasil kadar surfaktan dalam limbah domestik tersebut. Hal ini dapat dilihat karna pada perlakuan reaktor F Hitung ($201096,02 > F_{Tabel} (9,07)$). Analisis ragam ini dilakukan pada selang kepercayaan 99%.

Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD) Limbah Domestik.

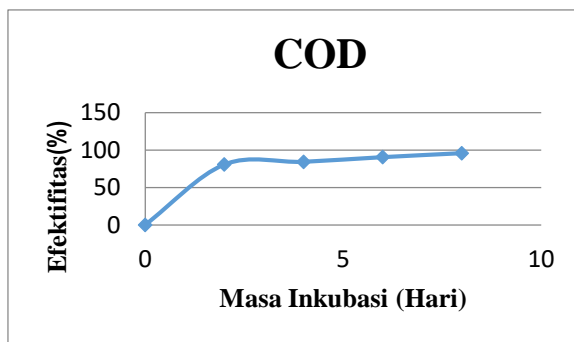
Pada penelitian ini, pengujian kadar Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD) dilakukan pada hari ke-0 (sebelum pengolahan), hari ke-2, hari ke-4, hari ke-6 dan hari ke-8. Titik sampling dilakukan pada limbah domestik sebelum pengolahan (inlet) dan outlet reaktor biofilm. Pengujian kadar KOK dalam limbah domestik hasil analisis laboratorium, dapat dilihat pada Tabel 5. dan nilai efektifitas reaktor terhadap penurunan kadar COD dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kadar COD

Parameter	Ulangan	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
		0	2	4	6	8
COD	1	308,25	60,38	49,50	28,89	13,28
	2	312,02	60,35	48,83	30,00	13,10
	3	312,03	60,37	48,80	30,01	13,12
	Rata - rata (mg/l)	310,77	60,37	49,04	29,63	13,17

Tabel 6. Nilai Efektifitas Penurunan Kadar COD

COD	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
	0	2	4	6	8
Outlet biofilm (mg/l)	310,77	60,37	49,04	29,63	13,17
Efektifitas (%)		80,57	84,22	90,46	95,76



Gambar 2. Nilai Efektifitas Reaktor Terhadap Penurunan Kadar COD

Tabel 5. dan Tabel 6. Hasil pengujian kadar COD sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan biofilm di peroleh kadar sebesar 310,77 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan terhadap limbah domestik menggunakan reaktor biofilm pada masa inkubasi hari ke-2, diperoleh kadar KOK sebesar 60,37 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar COD sebesar 80,57%, pada masa inkubasi hari ke-4, diperoleh kadar COD, sebesar 49,04 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar KOK sebesar 84,22%, pada masa inkubasi hari ke-6, diperoleh kadar COD, sebesar 29,63 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar KOK sebesar 90,46%, pada masa inkubasi hari ke-8, diperoleh kadar COD, sebesar 13,17 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar COD sebesar 95,76%.

Tabel 7. Hasil Analisis Sidik Ragam COD

Sumber keragaman	db	JK	Varian (Ragam)	Fhit	Ftabel	
					0,05	0,01
Antar Kolom	1	186801,65	186801,65	19419,64	4,67	9,07
Sisaan	13	125,05	9,619			
	14	186926,70				

Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD) Limbah Domestik

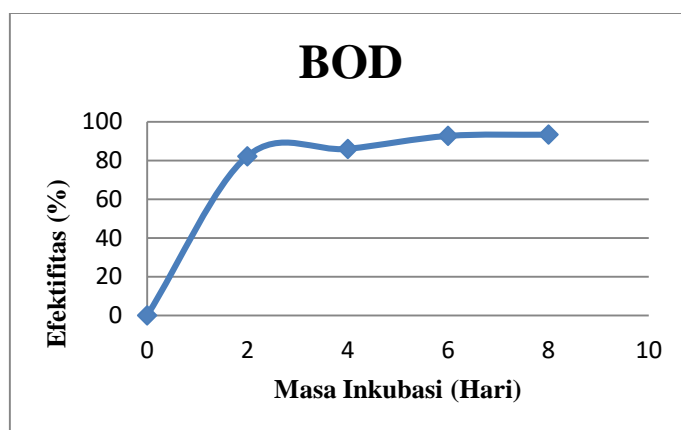
Pada penelitian ini, pengujian kadar Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD) dilakukan pada hari ke-0 (sebelum pengolahan), hari ke-2, hari ke-4, hari ke-6 dan hari ke-8. Titik sampling dilakukan pada limbah domestik sebelum pengolahan (*inlet*) dan *outlet* reaktor *biofilm*. Pengujian kadar KOB dalam limbah domestik hasil analisis laboratorium, dapat dilihat pada Table 8. dan nilai efektifitas reaktor terhadap penurunan kadar BOD dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kadar BOD

Parameter	Ulangan	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
		0	2	4	6	8
BOD	1	281,29	50,33	39,68	20,80	19,19
	2	283,15	50,35	39,63	20,85	18,88
	3	283,20	50,29	35,65	20,82	18,89
	Rata - rata (mg/l)	282,55	50,32	39,65	20,82	18,99

Tabel 9. Nilai Efektifitas Penurunan Kadar BOD

BOD	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
	0	2	4	6	8
Outlet biofilm (mg/l)	282,55	50,32	39,65	20,82	18,99
Efektifitas (%)		82,19	85,97	92,63	93,28



Gambar 3. Nilai Efektifitas Reaktor Terhadap Penurunan Kadar BOD

Tabel 8. dan Tabel 9. Hasil pengujian kadar BOD sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan *biofilm* di peroleh kadar sebesar 282,55 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan terhadap limbah domestik menggunakan reaktor biofilm pada masa inkubasi hari ke-2, diperoleh kadar BOD sebesar 50,32 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar BOD sebesar 82,19%, pada masa inkubasi hari ke-4, diperoleh kadar BOD, sebesar 39,65 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar BOD sebesar 85,97 %, pada masa inkubasi hari ke-6, diperoleh kadar BOD, sebesar 20,82 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar BOD sebesar 92,63 %, pada masa inkubasi hari ke-8, diperoleh kadar BOD, sebesar 18,99 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar BOD sebesar 93,28%.

Tabel 10. Hasil Analisis Sidik Ragam BOD

Sumber keragaman	db	JK	Varian (Ragam)	Fhit	Ftabel	
					0,05	0,01
Antar Kolom	1	152530,15	152530,15	151021,48	4,67	9,07
Sisaan	13	13,13	1,010			
	14	152543,28				

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam perlakuan masa inkubasi terhadap kadar KOB, maka perlakuan masa inkubasi mempengaruhi atau berbeda nyata terhadap penurunan hasil kadar KOB dalam limbah domestik tersebut. Hal ini dapat dilihat karna pada perlakuan reaktor F Hitung (151021,48) > F Tabel (9,07). Analisis ragam ini dilakukan pada selang kepercayaan 99%.

Amonia Limbah Domestik

Pada penelitian ini, pengujian kadar Amonia dilakukan pada hari ke-0 (sebelum pengolahan), hari ke-2, hari ke-4, hari ke-6 dan hari ke-8. Titik sampling dilakukan pada limbah domestik sebelum pengolahan (*inlet*) dan *outlet* reaktor *biofilm*. Pengujian kadar amonia dalam limbah domestik hasil

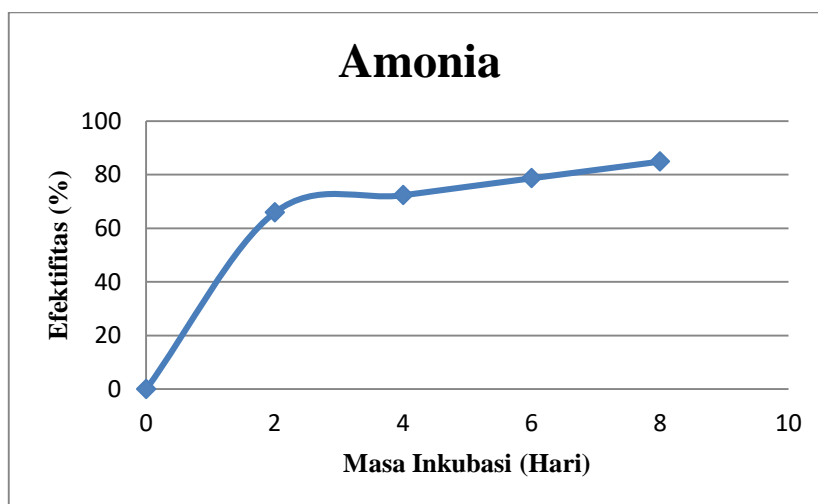
analisis laboratorium, di peroleh hasil dapat dilihat pada Table 11. dan nilai efektifitas reaktor terhadap penurunan kadar Amonia dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 11. Hasil Pengujian Kadar Amonia

Parameter	Ulangan	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
		0	2	4	6	8
AMONIA	1	157,30	53,85	43,63	33,60	23,80
	2	158,00	53,79	43,60	33,60	23,78
	3	158,02	53,80	43,60	33,59	23,79
	Rata - rata (mg/l)	157,77	53,81	43,61	33,60	23,79

Tabel 12. Nilai Efektifitas Penurunan Kadar Amonia

Amonia	Hasil Pengamatan Hari Ke-				
	0	2	4	6	8
Outlet biofilm (mg/l)	157,77	53,81	43,61	33,60	23,79
Efektifitas (%)		65,89	72,36	78,70	84,92



Gambar 4. Nilai Efektifitas Reaktor Terhadap Penurunan Kadar Amonia

Tabel 11. dan Tabel 12. Hasil pengujian kadar Amonia sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan *biofilm* di peroleh kadar sebesar 157,77 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan terhadap limbah domestik menggunakan reaktor biofilm pada masa inkubasi hari ke-2, diperoleh kadar Amonia sebesar 53,81 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar Amonia sebesar 65,89%, pada masa inkubasi hari ke-4, diperoleh kadar Amonia, sebesar 43,61 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar Amonia sebesar 72,36%, pada masa inkubasi hari ke-6, diperoleh kadar Amonia, sebesar 33,60 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar Amonia sebesar 78,70%, pada masa inkubasi hari ke-8, diperoleh kadar Amonia, sebesar 23,79 mg/L dengan efektifitas penurunan kadar Amonia sebesar 84,92%.

Tabel 13. Hasil Analisis Sidik Ragam Amonia

Sumber keragaman	db	JK	Varian (Ragam)	Fhit	Ftabel	
					0,05	0,01
Antar Kolom	1	37523,93	37523,93	1292,25	4,67	9,07
Sisaan	13	377,49	29,038			
	14	37901,42				

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam perlakuan masa inkubasi terhadap kadar Amonia, maka perlakuan masa inkubasi mempengaruhi atau berbeda nyata terhadap penurunan hasil kadar Amonia dalam limbah domestik tersebut. Hal ini dapat dilihat karna pada perlakuan reaktor F Hitung ($1292,25 > F \text{ Tabel } (9,07)$). Analisis raga mini dilakukan pada selang kepercayaan 99%.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian efektifitas reaktor *biofilm* terhadap penurunan kadar surfaktan, Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD), Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD) dan Amonia pada limbah domestik dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Perlakuan inkubasi masa pengolahan mempengaruhi atau berbeda nyata terhadap efektifitas penurunan kadar surfaktan, Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD), Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD), dan Amonia pada limbah domestik.
2. Efektifitas terbesar terjadi pada waktu inkubasi dihari ke-2, penurunan kadar surfaktan dari 34,88 mg/L menjadi 8,10 mg/L dengan nilai efektifitas reaktor sebesar 76,78%. Kadar COD menurun dari 310,77 mg/L menjadi 60,37 mg/L dengan nilai efektifitas reaktor sebesar 80,57%. Kadar BOD menurun dari 282,55 mg/L menjadi 50,32 mg/L dengan nilai efektifitas reaktor sebesar 82,19% dan penurunan kadar amonia dari 157,77 mg/L yaitu menjadi 53,81 mg/L dengan nilai efektifitas reaktor sebesar 65,89 %.

Saran

Kinerja reaktor *Biofilm* media potongan bambu menghasilkan nilai presentase penurunan yang besar terhadap parameter yang diuji, namun perlu ada pengolahan lebih lanjut setelah reaktor *Biofilm* seperti reaktor saringan yang berfungsi untuk menyaring partikel koloid yang ikut terbawa *effluent* dari reaktor *biofilm* yang berupa lumut atau lapisan dari mikroorganisme.

Pada proses aerasi, diukur DO nya karna dikhawatirkan penurunan kadar dari parameter-parameter yang diukur juga karena aerasi. Pada penelitian berikutnya juga peneliti sarankan untuk melakukan pembiakan (*seeding*) mikroorganisme secara alami. Karena jika menggunakan bakteri *monoculture* yang spesifik seperti penelitian penulis di butuhkan biaya yang untuk membeli bakteri tersebut.

Disarankan untuk melakukan penelitian selanjutnya secara dua perlakuan, yang pertama adalah reaktor dengan menggunakan aerasi dan yang kedua tanpa menggunakan aerasi, hal tersebut untuk melihat pengaruh aerasi terhadap efektifitas pengolahan limbah cair domestik dengan reaktor *biofilm* media bambu. Pengamatan sebaiknya dimulai pada saat penumbuhan *biofilm*, untuk melihat *lag phase* pertumbuhan mikroorganismenya. Pada saat melakukan aerasi sebelumnya di ukur terlebih dahulu Kadar Oksigen Terlarutnya untuk melihat apakah DO mempengaruhi penurunan kadar polutan dalam limbah, kemudian *aeration rate* juga diukur agar mempermudah melakukan perhitungan untuk melihat pengaruh aerasi pada rector *biofilm*.

Adapun efek yang ditimbulkan pada penelitian dengan reaktor *biofilm* media potongan bambu menghasilkan bau dan warna. Dengan demikian disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan *biofilter*, untuk menghilangkan bau dan warna pada pengolahan limbah cair domestik dengan reaktor *biofilm* media potongan bambu.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G, dan Sri Sumentri Santika. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- AWWA. 1989. *Standard Method For The Examination Of Water and Wastewater, 15th ed.* Washington
- Center for Biofilm Engineering. 2009. A Biofilm Primer. Center for Biofilm at Montana State University. Montana.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran, Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: UI-Press.
- Donlan, R. 2002. *Biofilm: Microbial Life on Surfaces*. From <http://www.medscape.com/viewarticle/441355>
- Edstrom. 2009. *Biofilm. Key to Understanding and Controlling Bacterial Growth in Automated Drinking Water System*. Edstrom Industries. Inc (800)-558-5913. USA.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelola Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Jakarta: Kanisius.
- Guyot, J. Paul. 2010. *Introduction to Small Flow Waste Treatment Systems*. New York.
- Halang, B. 2004. *Toksitas Air Limbah Deterjen Terhadap Ikan Mas*. Program Studi Biologi FKIP Universitas Lambung Mangkurat.
- Hargreaves, T. 2003. *Chemical Formulation: An Overview of Surfactant Based Preparations Used In Everyday Life*. RSC Paperbacks. Cambridge.
- Metcalf and Eddy. (1991). *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse 3rd Edition*. Mc Graw – Hill Book Co: Singapore
- Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse*. Mc Graw – Hill, Inc: USA
- Ngai, T. & Sophie. 2003. *The Arsenic Biosand filter (ABF) Design of An Appropriate Household Drinking Water Filter For Rural Nepal*. Nepal.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- PubMed Central. 2007. *Effect of Protein, Polysaccharide, and Oxygen Concentration Profiles on Biofilm*. *Cohesiveness Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 73 (9)
- Qasim, Syed. 1985. *Wastewater Treatment Plants*. New York: CBC College
- Jerabkova, H., B. Kralova, and J. Nahlik. 1999. *Biofilm of Pseudomonas C12B on Glass Support as Catalytic Agent for Continuous SDS Removal*. *International Biodeterioration and Biodegradation*.
- Ryoo, D., H. Shim, K. Canada, P. Barbieri, dan T. K. Wood. 2000 *Aerobic Degradation of Tetrachloroethylene by Toluene-o-xylene Monooxygenase of Pseudomonas Stutzeri OX1*, *Nat Biotechnol*, 18: 775-778.