

PENGARUH WTH TERHADAP KUALITAS AIR PADAPRE-TREATMENT AIR BERSIH MENGGUNAKAN MEDIA LIMBAH PLASTIK AIR MINUM DALAM KEMASAN (AMDK) DENGAN *FIXED BED REACTOR*

Mega Ayu Yusuf¹⁾

Surel : megaayuyusuf@yahoo.com

Jurusan Teknik Pertanian FAPERTA UNMUS

ABSTRACT

In big cities, quality of raw water (river water) is decreasing, as result of industrial and domestic wastes discharge into river without any treatment. Therefore, pre-treatment is needed to improve the raw water quality. An alternative for pre-treatment of the raw water is fixed bed reactor (FBR) system, in which organic substances can be removed biologically. In this experiment, an FBR was used to reduce concentrations of organic, ammonia, total suspended solid (TSS), color and turbidity in raw water. One type of media were used namely recycled plastic bottled of drinking water. The system is equipped with circulator and aerator to support the microorganism growth on the media surface as biofilms. The experiments were conducted at HRT (Hydraulic Retention Time) between 1–4 hours. HRT of 3 hours was found to be optimum for the reactor with recycled plastic bottled of drinking water with removal efficiency of organic, ammonia, total suspended solid (TSS), color and turbidity are 70%, 61%, 66%, 67% and 63% respectively.

Keywords: Raw water pre-treatment, fixed bed reactor, HRT

PENDAHULUAN

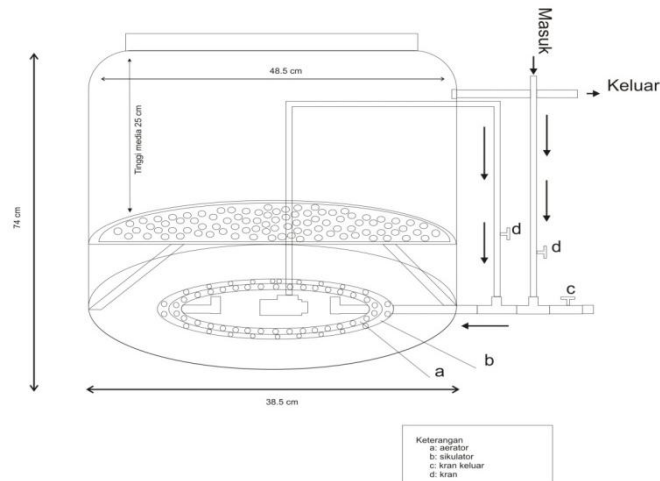
Penurunan kualitas air baku mengakibatkan biaya proses pengolahan menjadi lebih besar, bahan kimia yang dibutuhkan meningkat dan kualitas air olahan tidak memenuhi kriteria mutu air sebagai air baku. Salah satu cara meningkatkan kualitas air bersih adalah dengan cara biologis. Cara biologis ini dapat dilakukan dalam suatu bioreaktor yang berisi media/ katalis padat, jenis reaktor ini biasa disebut *fixed bed* reaktor. *Fixed bed* reaktor dapat didefinisikan sebagai suatu *tube* silindrikal yang dapat diisi dengan partikel-partikel katalis. Selama operasi, gas atau liquid atau keduanya akan melewati *tube* dan partikel-partikel katalis, sehingga akan terjadi reaksi. Salah satu media yang dapat digunakan dalam *Fixed Bed* Reaktor adalah media plastik, karena yang dapat dijadikan sebagai media tanam sehingga dapat dijadikan tempat tumbuh atau media untuk mikroorganisme. Metode ini merupakan sebuah cara pemurnian limbah berupa bahan organik yang ada pada air dengan bantuan bahan pengendali biologis yang sangat efektif dan tidak membahayakan perairan maupun mencemari perairan. Adapun pemanfaatan penanganan secara biologis ini seringkali digunakan untuk mengurangi kadar organik dalam perairan seperti ammonium, nitrat, dan bahan organik lainnya serta *total suspended solid* (TSS). Apabila konsentrasi bahan organik terlalu tinggi dalam perairan maka dampaknya akan menimbulkan pencemar bagi ekosistem di perairan tersebut dan dampak tidak langsung bagi manusia oleh karena itu

dibutuhkan pengendalian terlebih dahulu. Dalam proses degradasi pada Fixed Bed Reactor, Waktu Tinggal Hidrolik memiliki peranan penting dalam rangka peningkatan efisiensi penyisihan bahan organik dan kotoran yang berada dalam air (*influent*). Oleh karena itu perlu diketahui Waktu tinggal hidrolik yang tepat dalam *fixed bed* reaktor ini sehingga didapatkan effluent yang optimum.

METODE PENELITIAN

Bahan utama berupa air sungai, air sungai yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air dari aliran sungai Cihideung Kemudian bahan yang diperlukan untuk analisis antara lain yaitu ammonium molybdate, SnCl_2 , Asam borat, H_2SO_4 0.02 N, NaOH 6 N, NaCl, H_2SO_4 pekat, asam oksalat 0.01 N, H_2SO_4 8 N, dan aquades. Peralatan utama terdiri dari *fixed bed reactor*, media penyangga dari plastik bekas AMDK, pompa sirkulasi, pompa aerasi, keran pengatur, sistem kelistrikan dan sistem perpipaan. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan *start-up reactor*. Mikroorganisma pengurai dipersiapkan sebelum pelaksanaan penelitian, yaitu dengan melakukan pembiakan (*seeding*) pada saat *start-up* reaktor. *Start-up* reaktor dilakukan dengan cara mengalirkan air baku secara kontinyu ke dalam reaktor melalui media plastik bekas AMDK (Air Minum Dalam Kemasan) sampai terbentuk lapisan biofilm yang melekat pada media. pembiakan mikroorganisma ini menggunakan waktu tinggal hidrolik 4 jam. Indikasi keberhasilan *start-up* reaktor adalah terbentuknya biofilm yang melekat pada media dan penyisihan organik. Pengamatan dilakukan secara visual berupa TSS, warna dan kekeruhan serta menganalisa nilai COD, nitrat, amonium dan sampai diperoleh efisiensi penyisihan stabil (kondisi *steady state*).

Penelitian utama Air baku diambil dari pipa utama intake WTP (Water Treatment Plant) IPB (Institut Pertanian Bogor) dialirkan ke dalam reaktor melalui keran pengatur untuk mengatur laju alir sesuai dengan variabel WTH yang ditentukan. Air baku masuk ke dalam drum penampung dari atas ke bawah selanjutnya masuk ke dalam unggun media sarang tawon dari bawah ke atas (*up flow*). Selama reaktor bekerja diberikan udara menggunakan *pompa aerasi* dan sebagian air disirkulasi dengan pompa sirkulasi secara terus menerus. Dalam penelitian ini dilakukan variasi WTH (Waktu Tinggal Hidrolik) dari 1, 2, 3 dan 4 jam. Sampel diambil dan dilakukan analisa laboratorium dari masing masing WTH baik titik masuk (air baku) maupun titik keluar (air olahan) untuk mendapatkan data efisiensi penyisihan organik, amonium, deterjen dan TSS. WTH terbaik diambil dengan cara memilih WTH terendah namun efisiensi penyisihan zat tinggi.



Gambar 1. Skema *Up flow fixed bed reactor*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Start-up Reaktor

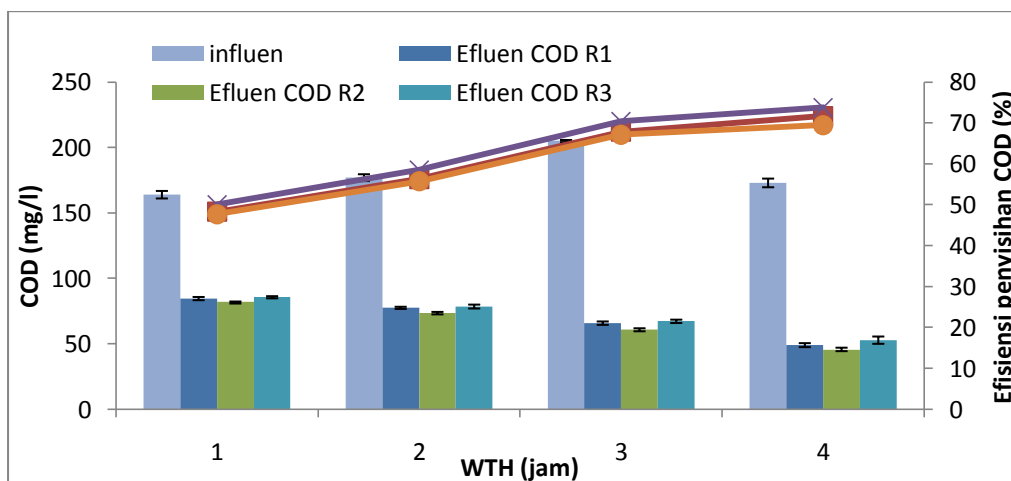
Kondisi operasi reaktor selama *start-up* dilakukan pada suhu ruang dan pH 6,8-7,4. Mikroorganisme pengurai dibiarkan tumbuh secara alami yaitu dengan cara mengalirkan air baku secara terus menerus ke dalam *fixed bed reactor* yang telah diisi media sampai terbentuk lapisan biofilm yang melekat pada permukaan media tersebut. Proses pertumbuhan mikroorganisme ini didukung dengan suplai udara 3 liter/menit secara terus menerus, dengan demikian air baku akan kontak dengan mikroorganisme yang tersuspensi di dalam air maupun yang menempel pada permukaan media, sehingga terjadi penguraian senyawa organik (Widayat, 2010). Sistem ini dilakukan dengan tujuan untuk proses aklimatisasi mikroorganisme. Aklimatisasi adalah suatu proses menumbuhkan dan mengadaptasikan mikroorganisme pada media yang ada dimana mikroorganisme tersebut yang nantinya akan berperan dalam mendegradasi bahan-bahan organik dan anorganik. Mikroorganisme tersebut dapat tumbuh atau melekat pada media hingga membentuk lapisan berupa biofilm karena di dalam air sungai terkandung unsur-unsur atau substrat yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroorganisme seperti unsur N dari amonium dan unsur P dari senyawa fosfat.

Pada hari pertama hingga hari ke-16 terjadi penurunan konsentrasi amonium. Penurunan konsentrasi amonium ini masih bersifat fluktuatif dimana nilainya berkisar antara 0,3-1,8 mg/l. Hal ini disebabkan oleh mikroorganisme yang ada masih beradaptasi dengan lingkungannya yang baru sehingga proses penguraian senyawa amonium belum berjalan dengan baik ditandai dengan lapisan biofilm yang terbentuk masih tipis. Pada hari ke 18

hingga hari ke-29 konsentrasi amonium pada air olahan sudah mencapai kondisi tunak (*steady state*) dimana nilainya berada di titik 0,3 mg/l. Pada fase ini disebut proses pematangan dan setelah mencapai kondisi stabil disimpulkan mikroorganisme pengurai telah tumbuh dan bekerja dengan baik (Winkler, 1981).

Pengaruh WTH Terhadap Penyisihan Bahan Organik

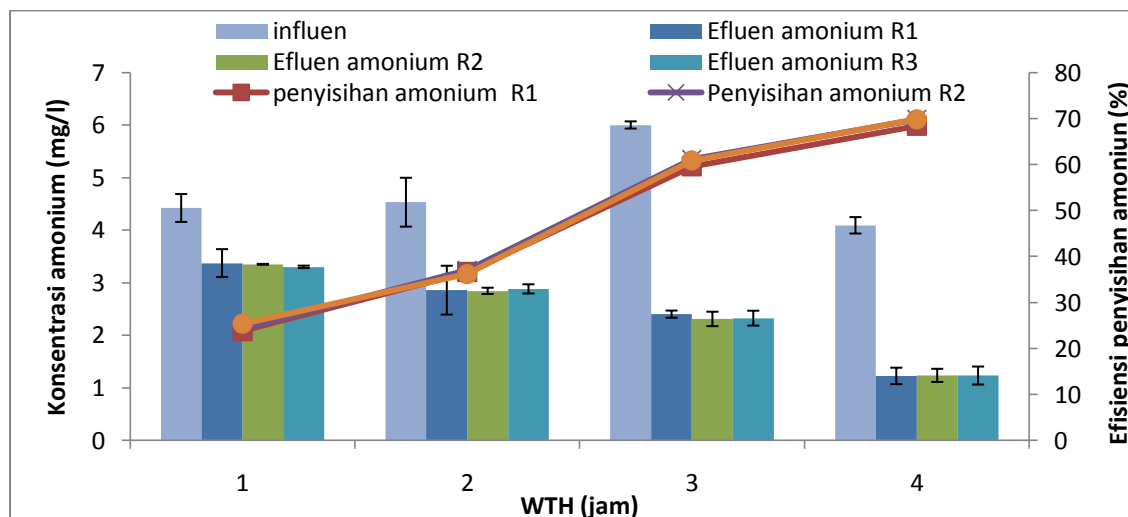
Pada WTH 4 jam, nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar 45-46 mg/l. Pada media tersebut kondisi tunak dicapaidalam waktu 32 jam. Pada WTH 3 jam, nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar 60-62 mg/l dan mencapai kondisi tunak pada waktu 24 jam. Pada WTH 2 jam, nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar sebesar 72-75 mg/l. Ketiga reaktor tersebut mencapai kondisi tunak dengan waktu kurang dari 24 jam. Adanya fluktuasi atau kondisi dinamik ini disebabkan oleh perubahan laju alir yang masuk menyebabkan sistem bekerja ulang. Pada saat dilakukan pengukuran, efluen yang diukur belum mewakili efluen WTH 4 jam yang sebenarnya. Hal ini dikarenakan, efluen yang keluar belum sepenuhnya diolah dengan waktu tinggal hidrolis selama 4 jam. Begitu juga yang terjadi dengan WTH yang lain. Nilai COD selama perubahan WTH pada masing-masing reaktor menunjukkan kecenderungan menurun dan berfluktuasi. Adanya beban organik yang berfluktuasi juga mempengaruhi konsentrasi COD di dalam sistem. Hal ini dapat terjadi karena jika terdapat peningkatan beban organik menimbulkan peningkatan kandungan atau senyawa-senyawa organik yang terukur sebagai COD yang ada di dalam air.



Gambar 2 Penyisihan COD pada WTH 1-4 jam

Efisiensi penyisihan rata-rata nilai COD pada reaktor terhadap WTH terlihat setelah kondisi *steady state* tercapai pada jam ke 32 dengan efisiensi penyisihan rata-rata sebesar 73,75%. Selanjutnya WTH dirubah menjadi 3 jam. Efisiensi penyisihan rata-rata pada WTH 3 jam setelah mencapai *steady state* turun menjadi 70,38%. Setelah itu reaktor dioperasikan dengan menurunkan WTH dari 3 jam menjadi 2 jam dan menghasilkan efisiensi penyisihan rata-rata senyawa organik turun sampai 58,53%. Pada saat WTH diturunkan dari 2 jam menjadi 1 jam, efisiensi penyisihan rata-rata senyawa organik mengalami penurunan menjadi 50%. Waktu kontak yang sedikit kurang mencukupi mikroorganisme untuk melakukan penguraian senyawa organik, dan mengakibatkan efisiensi penyisihan senyawa organik mengalami penurunan.

Konsentrasi amonium pada reaktor dipengaruhi oleh waktu tinggal hidrolis. Semakin tinggi WTH maka semakin kecil konsentrasi amoniumnya. Pada WTH 1 jam, konsentrasi amonium rata-rata influen adalah 4,4 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi amonium efluen sebesar 3,3 mg/l. Pada WTH 2 jam, konsentrasi amonium rata-rata influen adalah 4,5 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi amonium efluen sebesar 2,8 mg/l. Pada WTH 3 jam, konsentrasi amonium rata-rata influen adalah 6 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi amonium efluen sebesar 2,3 mg/l. Pada WTH 4 jam, konsentrasi amonium rata-rata influen adalah 4,1 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi amonium efluen adalah 1,2 mg/l. Waktu kontak antara air baku dengan lapisan biofilm sangat diperlukan oleh mikroorganisme untuk memanfaatkan zat organik dalam proses metabolisme (Widayat, 2010). Oleh karena itu, semakin lama WTH maka semakin rendah konsentrasi amonium yang dihasilkan.



Gambar3 Penyisihan amonium pada WTH 1-4 jam

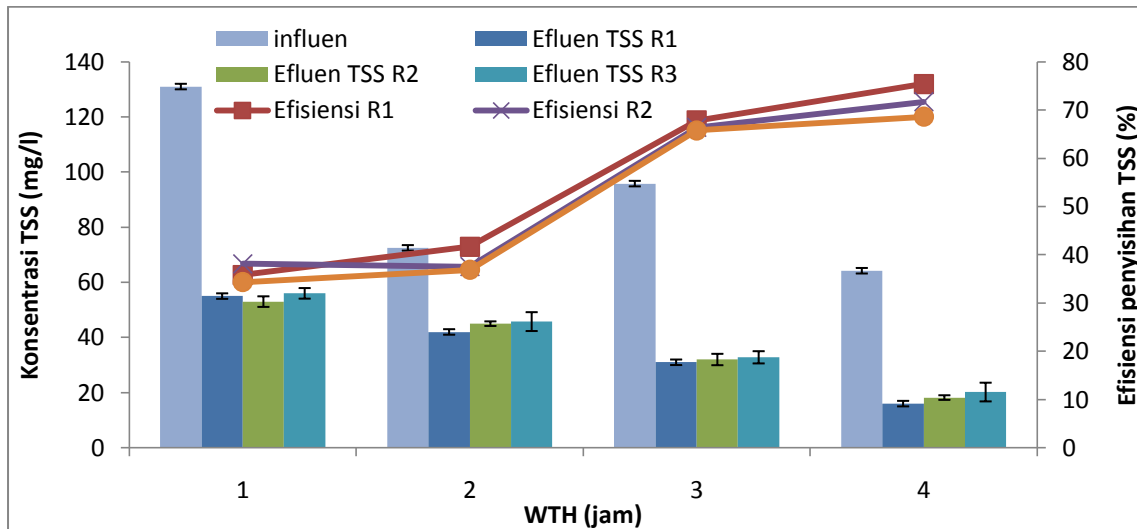
Efisiensi penyisihan rata-rata tertinggi pada reaktor dengan media plastik AMDK didapat pada pengkondisian waktu tinggal hidrolis 4 jam yaitu sebesar 69,79%, diikuti dengan waktu tinggal hidrolis 3 jam sebesar 61,13%, kemudian waktu tinggal hidrolis 2 jam menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 37% dan paling rendah pada waktu tinggal hidrolis 1 jam sebesar 24,32%. Nilai efisiensi penyisihan rata-rata senyawa organik, amonium, TSS, kekeruhan dan warna dengan WTH 1-4 jam pada berbagai media dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Rata-rata efisiensi penyisihan polutan dengan variasi WTH 1-4 jam pada reaktor dengan media plastik AMDK

WTH (jam)	Rata-rata efisiensi penyisihan (%)				
	Organik (COD)	Amonium (NH ₄ -N)	TSS	Kekeruhan	Warna
1	50	24,32	38,16	24,65	56,48
2	58,53	37	37,53	39,11	59,68
3	70,38	61,13	66,37	67,02	63,15
4	73,75	69,79	71,69	67,36	69,92

Pengaruh WTH Terhadap Sifat Fisik Air Baku

Kualitas fisik air sangat penting untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Karakter fisik air meliputi kekeruhan, total padatan tersuspensi (TSS), dan warna. Sifat fisik air ini lebih berpengaruh kepada estetika yang ditampilkan. Kekeruhan, TSS, dan warna memiliki kaitan yang sangat erat. Kaitan yang dimaksud disini adalah penurunan tingkat kekeruhan akan diikuti dengan penurunan TSS dan warna. Kekeruhan air dapat ditimbulkan karena adanya bahan-bahan anorganik dan organik yang terkandung di dalam air seperti lumpur dan bahan yang dihasilkan oleh buangan industri ataupun domestik. Zat tersuspensi yang berada di dalam air juga terdiri dari berbagai macam zat sama halnya dengan penyebab kekeruhan, hanya saja TSS berfungsi untuk mengukur jumlah atau konsentrasi padatan yang tersuspensi di dalam air, sedangkan kekeruhan mengamati padatan secara umum yang tidak terlihat oleh mata. Warna air juga dapat ditimbulkan oleh kehadiran organisme atau bahan-bahan tersuspensi yang berwarna dan oleh ekstrak senyawa-senyawa organik dan juga tumbuh-tumbuhan. Tingginya tingkat kekeruhan dan TSS juga mengindikasikan terdapatnya padatan tersuspensi seperti sel mikroorganisme dan senyawa organik yang larut dalam air. Oleh karena itu, sifat fisik air baku ini perlu ditingkatkan kualitasnya.



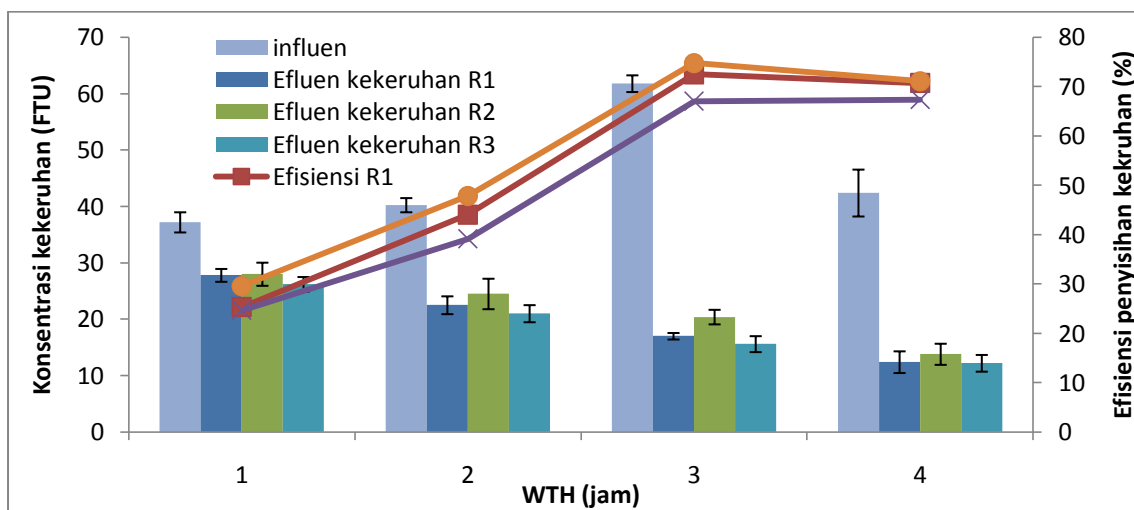
Gambar 4 Penyisihan TSS pada WTH 1-4 jam

Semakin tinggi WTH semakin rendah konsentrasi TSS efluennya. Pada WTH 1 jam, konsentrasi TSS rata-rata influen adalah 131 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi TSS efluen sebesar 53 mg/l. Pada WTH 2 jam, konsentrasi TSS rata-rata influen adalah 72,5 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi TSS efluen sebesar 45 mg. Pada WTH 3 jam, konsentrasi TSS rata-rata influen adalah 95,8 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi TSS efluen sebesar 32 mg/. Pada WTH 4 jam, konsentrasi TSS rata-rata influen adalah 64 mg/l, sedangkan rata-rata konsentrasi TSS efluen sebesar 18. Semakin lama waktu tinggal hidrolis menyebabkan konsentrasi TSS semakin berkurang. Hal ini dikarenakan zat-zat tersuspensi memiliki waktu yang lebih lama tertahan pada media yang ada di dalam reaktor dan akhirnya terurai menjadi bentuk yang larut dalam air.

Fluktuasi konsentrasi TSS dalam air baku pada titik masuk dapat diturunkan dengan baik melalui kestabilan sistem dalam reaktor, sehingga efisiensi penyisihan TSS cukup tinggi. Efisiensi penyisihan TSS untuk WTH 4 jam adalah 71,69%, WTH 3 jam sebesar 66,37%, WTH 2 jam sebesar 37,53% dan pada WTH 1 jam turun menjadi 38,16%.

Kekeruhan pada dasarnya juga disebabkan oleh adanya zat tersuspensi dalam air, namun karena zat-zat tersuspensi yang ada dalam air terdiri dari berbagai macam zat yang bentuk dan berat jenisnya berbeda-beda maka kekeruhan tidak selalu sebanding dengan kadar zat tersuspensi. Semakin tinggi WTH, semakin kecil konsentrasi kekeruhan pada efluen. Pada WTH 1 jam, konsentrasi kekeruhan rata-rata influen adalah 37 FTU, sedangkan rata-rata konsentrasi kekeruhan efluen adalah 28 FTU. Pada WTH 2 jam, konsentrasi

kekeruhan rata-rata influen adalah 40 FTU, sedangkan rata-rata konsentrasi kekeruhan efluen sebesar 24 FTU. Pada WTH 3 jam, konsentrasi kekeruhan rata-rata influen adalah 62 FTU, sedangkan rata-rata konsentrasi kekeruhan efluen sebesar 20 FTU. Pada WTH 4 jam, konsentrasi kekeruhan rata-rata influen adalah 42 FTU, sedangkan rata-rata konsentrasi kekeruhan efluen sebesar 13 FTU. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kekeruhan berkaitan erat dengan TSS dan warna pada air. Penurunan konsentrasi TSS diikuti juga oleh penurunan konsentrasi kekeruhan yang disebabkan oleh zat-zat atau bahan-bahan tersuspensi dan terlarut dalam air akan tertahan pada media dan akan terurai menjadi bentuk yang larut dalam air.



Gambar 5 Penyisihan kekeruhan pada WTH 1-4 jam

Fluktuasi konsentrasi kekeruhan dalam air baku pada titik masuk dapat diturunkan dengan baik melalui kestabilan sistem dalam reaktor, sehingga efisiensi penyisihan kekeruhan cukup tinggi. Efisiensi penyisihan kekeruhan yang terjadi pada WTH 4 jam adalah sebesar 67,36%, kemudian turun pada WTH 3 jam menjadi 67,02% pada WTH 2 jam sebesar 39,11% dan terus turun menjadi 24,65% pada WTH 1 jam.

Selain TSS dan kekeruhan, warna air juga dapat ditimbulkan oleh kehadiran organisme atau bahan-bahan tersuspensi yang berwarna dan oleh ekstrak senyawa-senyawa organik dan juga tumbuh-tumbuhan. Semakin tinggi WTH, semakin kecil kepekatan warna pada efluen. Selain TSS dan kekeruhan yang terlihat, warna yang ada pada air baku juga dapat ditimbulkan oleh kehadiran organisme atau bahan-bahan tersuspensi yang berwarna dan oleh ekstrak senyawa-senyawa organik dan juga tumbuh-tumbuhan. Kekeruhan, TSS dan warna memiliki kaitan yang sangat erat. Sehingga dengan adanya penurunan nilai konsentrasi TSS akan diikuti dengan penurunan tingkat kekeruhan dan kepekatan warna. Pada WTH 1 jam, kepekatan warna rata-rata influen adalah 220 PtCo, sedangkan rata-rata

kepekatan warna efluen sebesar 96 PtCo. Pada WTH 2 jam, kepekatan warna rata-rata influen adalah 236 PtCo, sedangkan rata-rata kepekatan warna efluen sebesar 95 PtCo. Pada WTH 3 jam, kepekatan warna rata-rata influen adalah 227 PtCo, sedangkan rata-rata kepekatan warna efluen sebesar 84 PtCo. Pada WTH 4 jam, kepekatan warna rata-rata influen adalah 230 PtCo, sedangkan rata-rata kepekatan warna efluen R2 sebesar 69 PtCo. Semakin tinggi WTH menghasilkan efisiensi penyisihan kepekatan warna yang tinggi pula. Pada reactor mencapai 69,92% pada WTH 4 jam, pada WTH 3 jam sebesar 63,15%, pada WTH 2 jam sebesar 59,68% dan pada WTH 1 jam turun sampai 56,48%.

Penentuan WaktuTinggalHidrolik (WTH)

WTH terpilih ditentukan melalui seleksi nilai efisiensi penyisihan senyawa organik, amonium, TSS, warna dan kekeruhan dengan mempertimbangkan teknis perencanaan dan kelayakan aplikasi teknologi biofilter. Waktu tinggal hidrolik yang dipilih adalah WTH yang paling singkat namun efisiensi penyisihan tinggi. Reaktor dengan efisiensi tinggi pada laju alir (debit) yang sama mempunyai kemampuan yang lebih besar dalam mengolah air sehingga lebih efisien dalam pemakaian energi untuk peralatan pendukung seperti pompa dan blower. Kualitas air hasil pengolahan juga merupakan faktor yang penting di dalam penentuan pemilihan waktu tinggal hidrolik. Kualitas air baku dan hasil pengolahan dari proses biofiltrasi dengan WTH 1-4 jam pada media plastic AMDK dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kualitas air baku dan hasil pengolahan dengan WTH 1-4 jam pada reaktor dengan media plastik AMDK

WTH (jam)	Konsentrasi rata-rata (mg/liter)									
	Organik (COD)		Nitrat (NO ₃ -N)		TSS		Kekeruhan		Warna	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
4	173 x	45,4 x	3,89 v	5,14 v	64,2 x	18,2 v	42,4 x	13,8 v	230	69,2
3	205 x	60,6 x	3,08 v	4,18 v	95,8 x	32,2 v	61,8 x	20,4 v	227	83,6
2	177 x	73,5 x	3,10 v	3,94 v	72,5 x	45,25 v	40,25 x	24,5 v	236,25	95,25
1	164 x	81,8 x	3,07 v	3,53 v	131 x	52,8 x	37,2 x	28 x	220,2	95,8

Keterangan : x = Tidak memenuhi kriteria mutu air golongan 1 PPRI No. 82/2001

v = Memenuhi kriteria mutu air golongan 1 PPRI No. 82/2001

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa efluen dari WTH 2-4 jam telah memenuhi kriteria mutu air golongan 1 PPRI No. 82/2001 kecuali pada parameter COD. Oleh karena itu jika dilihat dari kemampuan efluen, belum bisa dipilih untuk digunakan sebagai air baku untuk air minum. Hal ini dapat disebabkan oleh biomassa yang ada pada sistem belum cukup

banyak untuk menguraikan substrat atau bisa juga disebabkan karena kemampuan biomassa yang ada baru sampai tahap itu. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk membuat air baku yang diolah bisa memenuhi kriteria mutu air golongan 1 tersebut. Akan tetapi jika dilihat dari efisiensi penyisihan senyawa organik, anorganik dan peningkatan sifat fisik air baku maka dapat diperoleh WTH 3 jam dengan tingkat efisiensi paling tinggi.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisa data penelitian dipilih WTH 3 jam dengan menggunakan media plastik AMDK dengan pertimbangan kelayakan waktu tinggal hidrolis yang tercepat tetapi efisiensi penyisihan senyawa organik, amonium, TSS, warna dan kekeruhan tertinggi. Pengoperasian *fixed bed reactor* dengan media plastik AMDK untuk mengolah air baku dengan WTH 3 jam mampu menyisihkan senyawa organik, amonium, TSS, warna dan kekeruhan dengan efisiensi berturut-turut 70,38%, 61,13%, 66,37%, 67,02% dan 63,15%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alerts, G., dan S. Santika. 1987. Metode Penelitian Air. PT. Usaha Nasional, Surabaya
- Alexander JS, Tyrrel SF.. 2005. *Compost liquor bioremediation using waste materials as biofiltration media*. Bioresource Technology 96 (2005) 557–564
- APHA. 2005. 21th Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Bajaj MGC, Winter J. 2008. Biodegradation of high phenol containing synthetic wastewater by an aerobic fixed bed reactor. Bioresource Technology 99: 8376–8381. [Terhubung berkala]. www.sciencedirect.com. [April 2011].
- Benfield, L.D., and C.W. Randall. 1980. Biological Process Design for Wastewater Treatment. Prentice Hall. New York
- Bitton G. 1994. *Wastewater Microbiology*. Willey-Liss. New York.
- Blackwell W. 2010. *Environmental Microbiology*: Second Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Dewi, D.P. 1998. Studi Pengkajian Efisiensi Sistem Pengolahan Biofilter Aerob terhadap Air Limbah Rumah Tangga dengan WTH yang Berbeda-beda. USNI. Jakarta

Dumont FE, Sacco JA. 2009 .Biochemical Engineering. New York: Nova Science Publishers, Inc.