

STUDI PENURUNAN KEKERUHAN DAN TOTAL SUSPENDED SOLIDS (TSS) DALAM BAK PENAMPUNG AIR HUJAN (PAH) MENGGUNAKAN REAKTOR GRAVITY ROUGHING FILTER (GRF)

Ganjar Samudro dan R. Abadi Rulian E.

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik UNDIP, Jl. Prof H. Sudarto SH Tembalang Semarang
Email: ganjarsamudro@undip.ac.id

ABSTRACT

This research investigated the influence of flowrate and turbidity and total suspended solids level to detention time in GRF reactor. The difference of flowrate could produce the difference of turbidity and total suspended solids level at certainly detention time. The research objects were rain water in rain water reservoir and GRF on laboratory bench scale. The research concluded that optimum flowrate is 5 mL/s with 78% reduction efficiency of turbidity and 79% reduction efficiency of total suspended solids level which was 100 minutes operating.

Key words: *flowrate, detention time, GRF, turbidity, total suspended solids*

PENDAHULUAN

Saat ini air bersih sangat sulit didapatkan, mengingat sumber daya air yang mengalami penurunan kuantitas dan kualitas. Kualitas air baku di berbagai kota di Indonesia rata-rata buruk atau tidak layak digunakan sebagai air baku air bersih. Kekhususan air baku tersebut salah satunya adalah air hujan. Air hujan yang turun disekitar lereng pegunungan, sebagai contoh lereng Gunung Merapi, berkualitas buruk sekali apabila dikonsumsi sebagai air bersih. Hal tersebut tampak secara visual, dimana tingkat kekeruhan yang tinggi diatas standar baku mutu air bersih siap konsumsi. Setiawan, D.P. (2008) dalam sebuah studi yang dilakukannya tentang kualitas air hujan pada penampung air hujan di desa Hargosari, kabupaten Gunung Kidul, mengemukakan bahwa air hujan pada penampung air hujan memiliki angka kekeruhan yang cukup tinggi, yaitu 90,56 NTU. Terlihat pula adanya endapan pada bak penampung akibat kebiasaan masyarakat untuk tidak menguras bak secara rutin. Oleh karena itu diperlukan penanganan solutif berupa pengolahan air hujan berkandungan kekeruhan tinggi menggunakan teknologi sederhana namun efektif dan efisien.

Teknologi sederhana yang ada di Indonesia, yaitu menggunakan sistem filtrasi dengan media pasir dan kerikil dilengkapi penambahan desinfektan berupa kaporit untuk membunuh

bakteri patogen yang terdapat dalam air baku air bersih. Sistem lainnya berupa penambahan larutan tawas untuk menurunkan tingkat kekeruhan, kemudian dialirkan menuju filter. Ada pula teknologi tinggi yang diterapkan namun berbiaya cukup tinggi, yaitu menggunakan membran jenis mikrofiltrasi. Penggunaan membrane ini praktis dan bersifat *portable*, namun biaya operasional dan pemeliharaan yang cukup tinggi dari sisi pergantian membran, listrik dan operator terlatih. Dengan melihat fakta dan permasalahan di dalam penyediaan air bersih siap konsumsi, maka penelitian ini difokuskan pada upaya memberikan alternatif teknologi yang ramah lingkungan, mudah, murah dan praktis, yaitu reaktor *roughing filter* tipe *gravity* atau *vertical*, yang dapat disebut *gravity/vertical roughing filter (GRF)*. Berdasarkan studi Clarke *et al.*, (1996); Collins, (1994); Galvis *et al.*, (1998); Wegelin, (1986) dalam Nkwonta dan Ochieng (2009); menunjukkan bahwa *roughing filter* merupakan metode efektif dan dapat diandalkan untuk mereduksi padatan tersuspensi, kekeruhan dan bakteri coliform. Menurut Clearly (2005) dinyatakan bahwa *Downflow* dan *uplow roughing filter* atau dapat disebut sifat aliran pada GRF (DRF/URF/GRF) lebih efisien dalam penyisihan padatan dibanding tipe *roughing filter* lainnya. Sedangkan pada studi perbandingan kinerja oleh Jayalath dan Padmasiri (1996), GRF memiliki kemampuan

reduksi kekeruhan dan total padatan tersuspensi 10 - 15% lebih rendah jika dibandingkan dengan *horizontal roughing filter (HRF)*, namun secara kapasitas pengolahan dapat 3 - 4 kali lebih besar dari *horizontal roughing filter*. Oleh karena itu, semakin besar atau semakin kecil kapasitas pengolahan, maka menghasilkan perbedaan tingkat kekeruhan dan total padatan tersuspensi pada effluen GRF.

METODOLOGI PENELITIAN

Obyek Penelitian

1. Air hujan yang diteliti adalah air hujan pada bak Penampungan Air Hujan (PAH) Desa Seruni, Kecamatan Musuk, Kabupaten Boyolali. Sampel yang diambil berjumlah 5 sampel dari 5 lokasi yaitu:
 - a. Bak penampung air hujan (PAH) milik Bapak Mangun Widyono
 - b. Bak penampung air hujan (PAH) milik Bapak Diyono
 - c. Bak penampung air hujan (PAH) milik Bapak Suyatno
 - d. Bak penampung air hujan (PAH) milik Masjid
 - e. Bak penampung air hujan (PAH) milik Bapak Wignyo
2. *Roughing filter* tipe GRF yang dibuat berdasarkan desain literatur dalam skala laboratorium.

Untuk parameter yang dianalisis pada air hujan sebelum dilakukan pengolahan, meliputi parameter fisika berupa kekeruhan dan jumlah padatan tersuspensi (TSS).

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaolin clay dan aquadest yang diperoleh dari toko bahan kimia. Kekeruhan dan total padatan tersuspensi artifisial dibuat berdasarkan besarnya hasil uji tingkat kekeruhan dan total padatan tersuspensi pada sampel air hujan yang diambil pada penampung air hujan dari Desa Seruni, Kecamatan Musuk, Kabupaten Boyolali. Bahan lain yang digunakan untuk pengujian diambil di laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro.

Alat

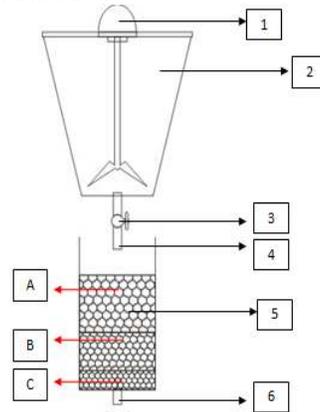
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sayung/selang plastik, jerigen plastik volume 2-5 liter, corong plastik, kertas saring, cawan *gooch*, bejana

isap/vacuum erlenmeyer, pompa vacuum, corong filter, gelas beker ukuran 1.000 mL, gelas beker ukuran 100 mL, Turbidimeter MicroTPW 2000, neraca analitik Mettler Toledo, oven Memmet 100-800, *Magnetic Stirrer*, desikator dan penjepit.

Rangkaian *Roughing Filter*

Rangkaian *roughing filter* yang digunakan terdiri dari:

1. Motor listrik dan blade pengaduk
2. Bak penampung 50 liter
3. Flow control valve
4. Inlet GRF
5. *Gravity Roughing Filter (GRF)*
6. Outlet GRF
 - a. Coarse filter
 - b. Normal Filter
 - c. Fine Filter



Gambar 1. Rangkaian Reaktor GRF

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan secara *grab sampling* (sampel sesaat), yaitu volume sampel yang diambil langsung dari PAH (*penampung air hujan*) yang sedang diteliti.

Penyiapan Kekeruhan dan Total Padatan Tersuspensi *artificial*

Kaolin clay yang digunakan adalah kaolin clay berwarna putih atau kuning pucat dan kering. Kaolin clay kemudian diayak dengan saringan, kemudian dilarutkan kedalam aquadest.

Uji Kinerja *Roughing Filter*

Uji kinerja *Roughing Filter* dilakukan dengan mengalirkan larutan artifisial kekeruhan dan total padatan tersuspensi pada kondisi aliran konstan (*steady flow*). Besar

tingkat kekeruhan dan total padatan tersuspensi artifisial dibuat berdasarkan hasil uji sampel air hujan pada penampung air hujan (PAH) dengan melarutkan kaolin clay dalam aquadest. Variasi debit aliran yang digunakan adalah 5 mL/detik dan 15 mL/detik yang disesuaikan berdasarkan besaran reaktor dalam skala laboratorium.

Pengambilan dan Pengukuran data

1. Kondisi air hujan pada penampung air hujan sebagai sumber air bersih atau air minum.

Langkah yang dilakukan adalah :

- a. Pengamatan kondisi air hujan secara visual pada penampung air hujan
- b. Meninjau pemanfaatan air hujan pada penampung air hujan oleh masyarakat sebagai sumber air bersih atau air minum

Pada proses ini dilakukan survey yang dilakukan untuk melihat secara langsung kondisi penampung air hujan dan pemanfaatannya oleh masyarakat. Metode yang dilakukan berupa observasi lapangan, dokumentasi, dan wawancara (bila diperlukan).

2. Pengecekan ingkat kekeruhan dan total padatan tersuspensi pada air di penampung air hujan.

Langkah yang dilakukan adalah :

- a. Menyiapkan tempat sampel
Tempat sampel berupa jerigen air berukuran 2 - 5 Liter yang telah disterilkan menggunakan alkohol
- b. Pengambilan sampel
Sampel yang diambil adalah *grab sample* (sampel sesaat) . Sampel diambil pada ketinggian $\frac{1}{2}$ - $\frac{2}{3}$ dari dasar bak dan \pm 10 cm dari tepi bak, menggunakan gayung, botol yang ditenggelamkan, atau selang air. Pengambilan sampel dilakukan 1 kali untuk tiap titik sampel. (Alaerts & Santika, 1984)
- c. Uji Kekeruhan Sampel
Sampel dibawa ke laboratorium dalam 1 x 24 jam untuk diuji kekeruhannya menggunakan Turbiditymeter MicroTPW 20000. Sampel diambil sebanyak 10 mL dengan *cuvet* untuk diukur tingkat kekeruhannya, dengan aquades sebagai larutan pembanding (kalibrasi).
- d. Uji Total Padatan Tersuspensi Sampel
Sampel dibawa ke laboratorium dalam 1 x 24 jam untuk diuji total padatan

tersuspensi . Sampel diambil sebanyak 50-100ml untuk diuji menggunakan metode berdasar SNI 06 - 6989.27-2005 Cara uji kadar padatan terlarut total secara gravimetri.

- e. Besar tingkat kekeruhan dan total padatan tersuspensi

Berdasarkan hasil uji dari beberapa sampel, diambil nilai terbaik yang mewakili kelusuhan sampel. Nilai tertinggi digunakan untuk membuat kekeruhan dan total padatan tersuspensi artifisial menggunakan *kaolin clay* dan *aquadest*.

- f. Pengkondisian kekeruhan dan total padatan tersuspensi artifisial

Kekeruhan dan total padatan tersuspensi artifisial dibuat dengan cara melarutkan *kaolin clay* dengan jumlah bervariasi pada *aquadest* sebanyak 1 Liter, kemudian dilakukan pengukuran nilai kekeruhan dan total padatan tersuspensi seperti langkah diatas hingga didapatkan nilai yang mendekati hasil uji sampel (*trial and error*). Larutan terbentuk akan digunakan untuk diuji penurunan kekeruhan dan total padatan tersuspensi menggunakan *roughing filter* GRF desain terpilih.

3. Mengetahui kemampuan *roughing filter* dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan total padatan tersuspensi pada air hujan di penampung air hujan

Langkah yang dilakukan adalah :

- a. Memilih diameter media filter yang akan digunakan berdasarkan kriteria desain *roughing filter*.
- b. Memilih jenis material filter yang akan digunakan berdasarkan kriteria desain *roughing filter* berupa kerikil (*gravel*), batu kapur (*limestone*), pecahan batu bata (*broken bricks*), batu belah (*broken stones*), potongan plastik (*plastic chips*) atau ijuk (*coconut fibre*).
- c. Desain *roughing filter* dalam skala laboratorium
 - GRF (*Gravity Roughing Filter*) atau *Down flow Roughing Filter*
Tinggi : 100 cm
Lebar : 15 cm
Panjang : 15 cm
 - HRF (*Horizontal Roughing Filter*)
Tinggi : 20 cm
Lebar : 15 cm
Panjang : 95 cm

4. Pengoperasian *roughing filter* GRF terpilih untuk menurunkan tingkat kekeuhan dan total padatan tersuspensi.

Langkah yang dilakukan adalah :

- Running* larutan kekeuhan dan total padatan tersuspensi artifisial pada 3 variasi debit aliran yang diatur menggunakan flow control valve. Untuk tiap variasi kecepatan aliran, pengambilan sampel dilakukan setiap 5 menit/sampel selama rentang waktu 100 menit dengan volume 50-100 mL/sampel.
- Sampel yang telah diambil kemudian diuji tingkat kekeuhan menggunakan turbidimeter dan total padatan tersuspensi dengan menggunakan

analisis gravimetri berdasar SNI 06-6989.3-2004.

- Menghitung efisiensi penurunan masing-masing sampel pada tiap variasi debit aliran. Efisiensi merupakan ukuran pencapaian suatu tujuan. Kinerja *roughing filter* dapat diketahui dari presentase efisiensinya dalam menurunkan tingkat kekeuhan dan total padatan tersuspensi dengan membandingkan pada kondisi awal sampel.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{kondisi akhir} - \text{kondisi awal}}{\text{kondisi awal}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Karakteristik Air Hujan pada Penampung Air Hujan (PAH)

Tabel 1. Hasil Pengujian Kualitas Air Hujan Pada Penampung Air Hujan (PAH)

Parameter	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	Ambang batas	Ambang batas
Fisika							*	**
Bau	-	Tidak berbau	Tidak berbau					
Jumlah Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	561	547	634	638	388	1000	500
Kekeuhan	NTU	42,71	48,47	76,84	42,55	23,25	5	5
Rasa	-	Tidak berbau	Tidak berbau					
Suhu	°C	27	27,1	27,1	28,5	27,1	Suhu udara ±3 C	Suhu udara ±3 C
Warna	TCU	2,183	3,479	2,104	11,758	0,730	15	15
Kimia								
pH		7,11	6,99	7,1	7,09	7,17	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Kesadahan	mg/L	17,64	15,68	14,7	19,6	13,72	500	500
Klorida	mg/L	6,48	5,48	6,98	14,98	7,98	600	250
Sulfat	mg/L	14,36	0,02	2,15	6,22	28,25	400	250
Besi	mg/L	0,0029	0,0057	0,0053	0,0041	0,0017	1	0,3
Mangan	mg/L	0,10	0,02	0,10	0,17	*ttd	0,5	0,4
Seng	mg/L	0,009	0,024	0,012	0,037	0,008	15	3,0
Tembaga	mg/L	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	1,0	2,0
Ammonia	mg/l	0,15	0,16	0,03	0,11	0,19	1,5	1,5
Nitrat, sebagai NO ₃ ⁻	mg/L	0,969	0,990	0,846	1,419	0,300	10	50
Nitrit, sebagai NO ₂ ⁻	mg/L	0,018	0,005	0,006	0,096	0,012	1	3
Zat organik (KMnO ₄)	mg/L	13,59	9,54	13,33	12,22	13,75	10	10

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2011

Keterangan: ttd = tidak terdeteksi

Pembandingan : * Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416/ tahun 1990

** Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/ tahun 2010

Berdasarkan hasil uji kualitas sampel air hujan pada penampung air hujan (PAH) untuk parameter fisika diketahui bahwa kualitas air hujan pada penampung air hujan tidak memenuhi untuk dimanfaatkan sebagai sumber air bersih ataupun air minum. Apabila ditinjau kembali dari nilai kekeruhan yang melebihi baku mutu kualitas air bersih dan air minum yang berlaku, serta kandungan TSS yang ada dan tinggi, kualitas air hujan pada bak penampung dapat dikatakan buruk, karena walaupun tidak terdapat dalam peraturan yang berlaku, sebaiknya tidak ada kandungan TSS pada air yang dimanfaatkan sebagai sumber air bersih ataupun air minum.

Berdasarkan hasil survei terhadap kondisi penampung air hujan (PAH) pada Desa Seruni, tingkat kekeruhan yang melebihi baku mutu kualitas air bersih dan air minum yang berlaku mungkin terjadi tidak hanya pada sampel air hujan yang diambil pada 5 titik sampling, tetapi hampir pada semua bak penampungan air hujan di Desa Seruni, dikarenakan penampung air hujan yang ada memiliki karakter sama yaitu :

- a. Bentuk bangunan penutup yang semi terbuka, seadanya, atau bahkan ada yang tanpa penutup sama sekali
- b. Lokasi penampung yang kurang ideal, biasanya berada didekat dapur, di

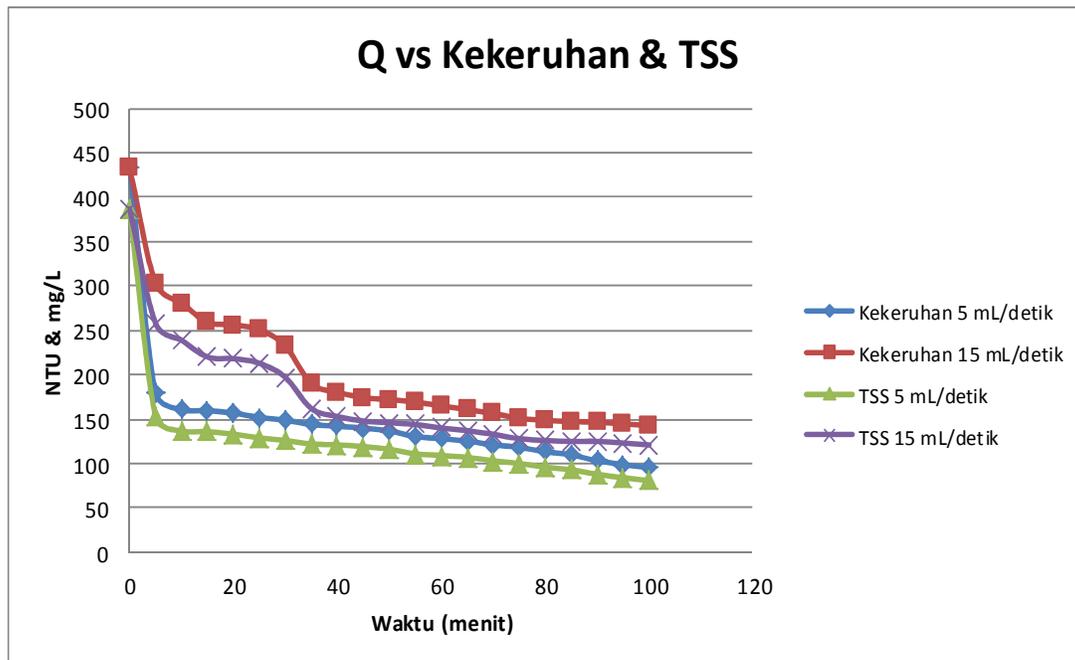
halaman belakang rumah, atau dekat dengan kandang ternak dan dibawah pepohonan.

- c. Struktur penampung yang setengah bangunan tertanam di tanah dan setengah bagian lagi berada diatas permukaan tanah (setengah tertimbun). Struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah tidak lebih dari 1,5 meter.

Persamaan lain yang memungkinkan bertambahnya nilai kekeruhan adalah kondisi talang air yang tidak dirawat/diperhatikan, rata-rata terjadi korosi atau berkarat karena berbau seng,berlumut dan berdebu pada talang berbahan bambu. Kondisi seperti ini memungkinkan menambah nilai kekeruhan. (Setiawan, D.P., 2008)

Melihat dari letak desa Seruni yang masuk dalam daerah *karst* dan berjarak ± 10 km dari Gunung Merapi kemungkinan akan berdebu sangat besar, dikarenakan angin yang bertiup membawa material debu vulkanik dari aktivitas Gunung Merapi sehingga secara tidak langsung meningkatkan kekeruhan terutama pada penampung air hujan (PAH) tanpa penutup, ditambah lagi konstruksi yang berada diatas permukaan tanah tidak terlalu tinggi akan memudahkan debu masuk ke dalam bak penampungan

Analisis Penurunan Kekeruhan dan Total Padatan Tersuspensi (TSS)



Gambar 2. Analisis Penentuan Debit Optimum terhadap Nilai Kekeruhan dan TSS pada Output GRF

Semakin kecil kapasitas pengolahan, maka semakin besar penurunan kekeruhan dan TSS, begitu juga sebaliknya. Pola penurunan antara parameter kekeruhan dengan TSS adalah sama. Hal ini menandakan bahwa apabila nilai kekeruhan menurun, maka nilai TSS juga menurun, dengan tingkat signifikansi berkisar antara 20 – 43 % antara penurunan kekeruhan dengan TSS. Sedangkan menurut Widigdo, 2001 bahwa perubahan atau naik turunnya nilai TSS tidak selalu diikuti oleh naik turunnya nilai kekeruhan secara linier. Hal ini dapat dijelaskan karena bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan perairan dapat terdiri atas berbagai bahan yang sifat dan beratnya berbeda sehingga tidak terlalu tergambarkan dalam bobot residu TSS yang sebanding. Hal ini juga berhubungan dengan prinsip pengukuran yang berbeda antara kekeruhan dengan TSS. Oleh karena itu tingkat signifikansi penurunan tidak memiliki ketetapan secara pasti, namun kecenderungan penurunan pasti terjadi pada parameter kekeruhan dan TSS.

Prosentase penurunan secara signifikan terjadi pada menit ke-0 sampai dengan menit ke-5 antara 58 – 60% untuk parameter kekeruhan dan TSS pada debit 5 mL/detik, dan tetap mengalami penurunan secara perlahan per 5 menit operasi sebesar 1 %. Penurunan signifikan pada menit ke-0 sampai dengan menit ke-5 disebabkan awal operasi media GRF masih dalam keadaan bersih, sehingga banyak zat pengotor (kekeruhan dan TSS) dalam air uji tertahan di media, setelah menit ke-5, media GRF dipermukaan jenuh zat pengotor, oleh karena itu hanya terjadi penurunan 1 % per 5 menit beroperasi. Hal ini didukung oleh penelitian Fitriani, N. dan Hadi, W. (2010) dimana pada unit RF, media-media yang terdapat pada RF memiliki pori yang nantinya akan terisi oleh partikel-partikel tersuspensi penyebab warna. Apabila rongga-rongga dalam media RF telah terisi dengan partikel tersuspensi penyebab warna maka lubang pori pun akan menyempit sehingga partikel yang lebih halus dapat tertahan. Sedangkan menurut Wegelin (1996), dinyatakan bahwa efisiensi filter tergantung pada konsentrasi padatan tersuspensi. Teori 1/3 dan 2/3 filter menjelaskan bahwa setiap layer mereduksi sekitar 1/3 partikel dan 2/3 lainnya pada layer berikutnya. Hal ini berlanjut pada setiap layer, dikarenakan konsentrasi partikel yang besar pada layer pertama, dimana banyak partikel direduksi daripada layer sebelumnya. Berdasarkan penelitian

Widigdo (2011) teridentifikasi bahwa tanda negatif merupakan indikasi penurunan prosentase reduksi dan meningkatnya permukaan air diatas permukaan media filter. Prosentase penurunan parameter kekeruhan dan TSS sebesar 1 % per 5 menit dapat menjadi indikasi pertama dalam penentuan kejenuhan media filter dalam penyaringan kekeruhan dan TSS. Apabila prosentase penurunan mengalami pengurangan dibawah 1 %, maka dapat diindikasikan media filter sudah mengalami kejenuhan yang diikuti naiknya permukaan air. Dalam penelitian ini belum teridentifikasi peningkatan nilai kekeruhan dan TSS sebagai zat-zat pengotor. Hal ini dapat diberikan justifikasi untuk dimulainya pencucian filter pada waktu dimana terjadi penurunan dibawah 1 % untuk pertama kalinya. Sedangkan menurut Widigdo (2011) dinyatakan bahwa kekeruhan air setelah melalui proses filtrasi meningkat karena pengotor yang melekat dalam filter baru ikut larut dalam air filtrasi. Namun pada percobaan ini belum dapat diidentifikasi peningkatan nilai parameter kekeruhan dan TSS setelah proses filtrasi, sehingga belum dapat dijustifikasi waktu pencucian media filter. Hal ini juga dinyatakan dalam penelitian Okun dan Schlutz (1996) dimana untuk meminimalisasi frekuensi pembersihan *Roughing Filter* dan memperlama masa operasi *Roughing Filter*, turbiditas rata-rata air baku sebaiknya antara 20 – 150 NTU. Apabila nilai input kekeruhan dan TSS 3 (kali) dari 150 NTU, maka dapat dimungkinkan pencucian media filter dapat lebih cepat.

KESIMPULAN

Debit optimum pada penelitian ini didapatkan sebesar 5 mL/detik dengan efisiensi penurunan sebesar 78 % pada parameter kekeruhan dan 79 % pada parameter TSS, yang dicapai selama 100 menit beroperasi. Hal ini dapat membuktikan teori sebelumnya bahwa semakin kecil kapasitas pengolahan pada GRF, maka semakin besar efisiensi penurunan kekeruhan dan TSS. Untuk keperluan aplikasi di lapangan harus disesuaikan dengan kapasitas pengolahan dan target efisiensi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas fasilitas analisis kekeruhan dan TSS.

DAFTAR PUSTAKA

- Clarke BA, Lloyd BJ, Crompton JL, Major IP. 1996. *Cleaning of up flow gravel prefilters in Multi-stage filtration water treatment plants*, in *Advances in Slow Sand & Alternative Biological Filtration*, ed.
- Cleary, S. 2005. *Sustainable drinking water treatment for small communities using Multistage slow sand filtration*. Unpublished master's thesis, University of Waterloo: Waterloo, Ontario, Canada.
- Collins MR, Westersmund CM, Cole JO, Roccaro JV. 1994. *Evaluation of roughing filtration design variables*. American Water Works Association Research Foundation and American Water Works Association.
- Galvis G, Visscher JT, Latorre J. 1998. *Multi-stage filtration and innovation water treatment technology*. International reference centre for community water supply and sanitation. The Hague: Netherlands and Universidad del valle instituto CINARA, Cali, Colombia.
- Jayalath, J.M.J.C. and J.P. Padmasiri. 1996. *Gravity roughing filter for pre-treatment : Reaching The Unreached: Challenges For The 21st Century*. 22nd WEDC Conference. Sri Lanka.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 Tentang Syarat-syarat dan Pengawas Kualitas Air Minum
- Nurina Fitriani dan Wahyono Hadi, 2010. Pengaruh Roughing Filter dan Slow Sand Filter dalam Pengolahan Air Minum dengan Air Baku dari Intake Karang Pilang terhadap Parameter Fisik. ITS Surabaya: Surabaya (<http://digilib.its.ac.id/ITS-Undergraduate-3100010038509/10750>)
- Setiawan, D.P. 2008. Studi Kualitas dan Pengolahan Air pada Penampungan Air Hujan (Pah) di Desa Hargosari, Kecamatan Tanjungsari, Gunungkidul Menggunakan Filter Karbon Aktif dan Uv. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP: UII Yogyakarta (http://rac.uui.ac.id/server/document/Public/20080624115444Tugas%20Akhir%20Da nang%20P%20Setiawan_.pdf)
- Onyeka Nkwonta and George Ochieng. 2009. *Roughing filter for water pre-treatment technology in developing countries: A review*. International Journal of Physical Sciences Vol. 4 (9), pp. 455-463, September, 2009 ISSN 1992 – 1950 (<http://www.academicjournals.org/ijps>)
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/MENKES/PER/IX/1990 Tentang Syarat-syarat dan Pengawas Kualitas Air Minum
- Schulz, C.R. and Okun, D.A. 1984. *Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries*. (Wiley - interscience). Wiley; ITDG Publishing.
- Wegelin M, Bolller M, Schertenleib R. 1986. *Particle removal by horizontal-flow roughing filtration*, Aqua. 2: 80-90.
- Yitian L, GU RR. 2003. Modeling Flow and Sediment Transport in a River System Using an Artificial Neural Network, J. Environ. Manage. 31(1): 122–134.
- Widigdo, B. 2001. Manajemen Sumberdaya Perairan. Bahan Kuliah. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor.