

Penggunaan Unit *Slow Sand Filter*, Ozon Generator dan *Rapid Sand Filter* untuk Meningkatkan Kualitas Air Sumur Dangkal menjadi Air Layak Minum dengan Parameter Kekeruhan, Fe, dan Mn

Jami'ah dan Wahyono Hadi

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: wahyono@enviro.its.ac.id

Abstrak—Air tanah dapat diambil masyarakat untuk keperluan sehari-hari. Air tanah terkadang belum memenuhi standar kualitas air minum karena adanya kadar besi, mangan dan kekeruhan yang tinggi. Dari permasalahan tersebut diperlukan adanya teknologi pengolahan yang efektif dan efisien bagi masyarakat. *Slow sand filter*, proses ozonisasi dan *rapid sand filter* dapat menjadi alternatif pengolahan air sumur dangkal tercemar menjadi air layak minum. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa kemampuan unit *slow sand filter*, ozon generator dan *rapid sand filter* dalam menyisihkan besi, mangan, dan kekeruhan yang terkandung dalam air minum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi removal pada unit *slow sand filter* untuk beban besi, mangan dan kekeruhan adalah (84,13%; 48,42%; 89,21%), pada proses ozonisasi (75,4%; 47,4%; 35,83%), dan pada unit *rapid sand filter* (79,63%; 72,2%; 64,94%).

Kata Kunci— *Slow Sand Filter*, Ozon Generator, *Rapid Sand Filter*, Kekeruhan, Fe dan Mn.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN rata-rata akan air minum bagi manusia adalah 8 gelas atau 2 liter perhari, sehingga proses metabolisme dalam tubuh manusia dapat berjalan normal. Hal ini jika dipandang dari segi jumlah yang harus diminum manusia terhitung kecil dan terkesan mudah untuk memenuhi kebutuhan air tersebut. Namun tidaklah mudah bagi orang-orang yang tinggal di daerah yang susah untuk mendapatkan air minum yang sehat dan sesuai dengan syarat kesehatan [1].

Dalam pemenuhan air bersih yang digunakan untuk keperluan sehari-hari oleh masyarakat ada alternatif yang dapat dimanfaatkan secara gratis yaitu air tanah sebagai sumber air bersih. Namun sering dijumpai pula air tanah dekat sungai yang telah tercemar atau kualitas airnya berada di atas baku mutu, terutama air tanah dekat sungai karena air sungai dapat masuk kedalam air tanah saat level air tanah lebih rendah daripada level air sungai yang biasa disebut intrusi air sungai ke dalam air tanah.

Dari permasalahan tersebut maka terbentuk ide mengenai pengolahan air sumur dangkal menggunakan *slow sand filter*,

dan *rapid sand filter* dengan teknologi ozonisasi menjadi air layak minum. [2] Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lin et al., *slow sand filter* mampu menghilangkan 91,6% kekeruhan, 89,1% dari padatan tersuspensi (SS), 77% dari kebutuhan oksigen kimiawi (COD) dan 85% biokimia kebutuhan oksigen (BOD), 99,95% dari total dan fecal coliform (TC dan FC) dan 99,99% dari streptokokus tinja (FS)

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengaruh beban pada inlet unit *slow sand filter*, pengaruh variasi waktu detensi (td) pada proses ozonisasi, serta pengaruh beban pada unit *rapid sand filter* dalam meremoval kekeruhan, besi dan mangan. Air baku yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sumur warga Brebek-Waru. Dari tandon yang digunakan, air baku dialirkan dengan pompa menuju tandon atas yang selanjutnya dialirkan menuju unit *slow sand filter*, unit ozon, dan menuju unit *rapid sand filter* dengan kondisi air siap konsumsi. Unit *slow sand filter* termasuk jenis pengolahan air tanpa menggunakan bahan kimia, unit ini dapat menurunkan kualitas bakteri terutama bakteri *E.coli* didalam air [3]. Alasan menggunakan proses ozonisasi yaitu karena ozon sebelum atau setelah bereaksi dengan unsure lain akan selalu menghasilkan oksigen (O₂) sehingga teknologi ozon sangat ramah lingkungan atau sering dikatakan ozon merupakan kimia hijau masa depan [4].

Media pada unit *slow sand filter* dan *rapid sand filter* adalah pasir dengan ketebalan media 60 cm. Digunakan alat ozon generator model TSH-278 0,400 gram/jam yang berfungsi mengoksidasi kandungan Fe, Mn. Terdapat 9 titik sampling pada penelitian ini yang akan dianalisa hasilnya. Variasi dan metode yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan dapat menurunkan kadar Fe, Mn dan kekeruhan sehingga memenuhi standar baku mutu air minum menurut PERMENKES/RI/NO.492/MENKES/PER/IV/2010. Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi waktu detensi 15 & 25 menit, 25 & 40 menit pada unit ozon, dan variasi kecepatan aliran adalah 0,3 dan 0,5 m³/m².jam pada unit *slow sand filter*.

II. METODE

A. Tahap Telaah

Penelitian ini diawali dengan proses aklimatisasi untuk membentuk biofilm pada media di unit slow sand filter dan pembiasaan media dengan kondisi air baku yang akan diteliti. Proses aklimatisasi berlangsung selama kurang lebih 2 minggu sebelum dilakukan pengolahan air baku. Air baku dari tandon menuju unit pertama yaitu *slow sand filter* dialirkan secara gravitasi dan pada pipa penghubung diberi valve untuk mengatur debit yang masuk unit *slow sand filter*.

Air dari unit *slow sand filter* ini akan mengalir pada unit ozon. Pengoperasian unit ozon ini didukung adanya ozon generator yang berfungsi menghasilkan ozon dengan output-an sebesar 0,400 gram/jam. Ozon yang dihasilkan diharapkan mampu mendegradasi kandungan zat organik, Besi dan Mangan dan membunuh mikroorganisme yang ada di dalam air baku. Gas yang dihasilkan dari alat ini berupa gas berwarna kebiruan dan berbau menyengat. Output air baku setelah melalui unit ozon ini mengandung flog yang menyebabkan terjadi kekeruhan. Kekeruhan ini disebabkan adanya reaksi kimia yang menyebabkan adanya mikroorganisme yang mati dan hasil degradasi dari zat organik itu sendiri. Sehingga perlu adanya unit yang selanjutnya yang dapat menyaring hasil olahan dari unit ozon.

Pada unit *rapid sand filter* ini ketebalan media adalah 60 cm. Pada pengoahan air bersih, penggunaan rapid sand filter cukup sering dalam pengurangan konsentrasi Fe dan Mn pada air sumur. Media yang digunakan lebih kecil dari 2 mm dengan kecepatan yang cukup besar di atas $15 \cdot 10^{-3}$ m/det [5]. Dalam pengoperasian unit *rapid sand filter* dengan *filtration rate* sebesar 1,2 m/jam (variabel *filtration rate* SSF 0,3 m/jam) dan 2 m/jam (variabel *filtration rate* SSF 0,3 m/jam) ini diharapkan dapat meremoval hasil olahan dari unit ozon yang masih mengandung kekeruhan hasil pemecahan partikel antara ozon dan senyawa yang terkandung dalam air baku sehingga didapatkan kualitas effluent yang memenuhi standar baku mutu air minum.

Perhitungan reaktor perlu dilakukan dalam penelitian ini untuk mencari diameter pipa pada unit slow sand filter dan rapid sand filter, serta mengetahui dimensi reaktor ozon. Berikut merupakan perhitungan untuk masing-masing reaktor.

- Diameter pipa pada unit slow sand filter

Direncanakan :

Kecepatan (v) = 0,5 m/jam

Debit (Q) = 25L/jam

Dari persamaan $Q = A \cdot v$ maka untuk mencari diameter pipa adalah

$$A = \frac{50L/2jam}{0,5 m/jam} = \frac{0,025 m^3/jam}{0,5 m/jam} = 0,05 m^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$D = 0,2523 m \approx 25,2 cm$$

- Dimensi reaktor ozon

Direncanakan :

$td_1 = 15$ menit $td_2 = 25$ menit

$Q = 50L/2jam$

Dari persamaan $Q = \frac{V}{t}$ → maka untuk mencari Volume adalah

$$V_1 = \frac{50 L}{(15 \times 4 \times 2) menit} \times 15 \text{ menit}$$

$V_1 = 6,25 L \approx 6250 cm^3$

Dimensi reaktor ozon untuk td 15 menit adalah panjang (p) = 20 cm, lebar (l) = 20 cm, dan tinggi (h) = 15 cm serta tinggi freeboard (fb) = 4 cm.

$V_2 = 120 menit \times 25 \text{ menit}$

$V_2 = 10,42 L \approx 10420 cm^3$

Dimensi reaktor ozon untuk td 25 menit adalah panjang (p) = 20 cm, lebar (l) = 20 cm, dan tinggi (h) = 25 cm serta tinggi freeboard (fb) = 4 cm.

- Diameter pipa pada unit rapid sand filter

Direncanakan :

Kecepatan (v) = 2 m/jam

Dari persamaan $Q = A \cdot v$ maka untuk mencari diameter pipa adalah

$$A = \frac{50L/2jam}{2 m/jam} = \frac{0,025 m^3/jam}{2 m/jam} = 0,0125 m^2$$

$A = \frac{1}{4} \pi D^2$

$D = 0,126 m \approx 12 cm$

B. Teknik Penentuan Media Pasir dan Kerikil

Media pada *slow sand filter* dengan jenis pasir yang berdiameter 0,1 – 0,3 mm. Jenis pasir yang digunakan adalah pasir lumajang karena mudah didapatkan dan harganya ekonomis. Untuk mendapatkan ukuran yang seragam, maka dilakukan pengayakan manual.

Untuk media *slow sand filter* menggunakan nomor ayakan

100 mesh dan 50 mesh yang setara dengan 0,15 mm dan 0,30 mm. Sedangkan untuk *rapid sand filter* menggunakan nomor ayakan 100 mesh dan 40 mesh yang setara dengan 0,15 mm dan 0,425 mm. Saringan dengan nomor besar diletakkan paling atas kemudian saringan yang lebih kecil, sedangkan bagian paling bawah merupakan wadah pasir hasil ayakan. Pasir yang digunakan adalah pasir yang tertahan pada ayakan nomor 50 mesh untuk unit *slow sand filter* dan 40 mesh untuk unit *rapid sand filter*. Media yang digunakan adalah media yang tertahan pada ayakan terakhir karena media yang digunakan adalah media pada rentang 0,15-0,30 mm untuk media *slow sand filter* dan 0,15-0,425 mm untuk media *rapid sand filter*.

Penyangga filter menggunakan kerikil hitam dengan diameter 3-5 mm. Penyusunan media kerikil pada reaktor dilakukan dari diameter terkecil dan semakin kebawah diameter kerikil menjadi lebih besar, hal ini dilakukan agar media pasir yang sudah tersusun tidak tergerus bersamaan dengan air yang mengalir melewati media kerikil. Media penyangga untuk *slow sand filter* adalah 20 cm, dan untuk *rapid sand filter* adalah 10 cm. Ketinggian media penyangga pada *slow sand filter* lebih tinggi dikarenakan reaktor yang digunakan besar yaitu 10 inch dan media pasir yang digunakan banyak yaitu sampai ketinggian 60 cm pada reaktor, sehingga membutuhkan penyangga yang kuat dan tinggi.

C. Teknik Pengambilan Sampel

Dalam metode pengambilan sampel yang menjadi perbedaan antar variabel adalah waktu pengambilan sampel air. Hal ini dikarenakan flow rate pada slow sand filter berbeda yaitu 0,3 dan 0,5 m³/jam. Berikut merupakan cara pengambilan sampel tiap variabel :

1. Pengambilan sampel sebagai control

Sampel yang digunakan sebagai control diperlakukan tanpa penambahan ozonisasi, urutan pengolahan dari tandon → slow sand filter → ozon (tanpa ozonisasi) → rapid sand filter.

Adapun cara pengambilan sampel untuk variabel filtration rate yaitu :

* Filtration rate 0,3 m³/m².jam

1. Sampel pertama adalah air baku yang diambil dari tandon (I) sebelum dipompa ke tandon atas (II).
2. Sampel kedua yaitu setelah melewati *slow sand filter*. Waktu detensi untuk mengalirkan air dari tandon II menuju *slow sand filter* adalah 3 jam, jadi untuk pengambilan air sampel dari slow sand filter setelah 3 jam. Pengambilan air sampel tidak boleh dilakukan sebelum 3 jam untuk menghindari tercampurnya air hasil pengolahan yang sebelumnya.
3. Sampel ketiga diambil setelah melewati ozon (tanpa ozonisasi) dan rapid sand filter. Adanya sampel sebagai control bertujuan untuk membandingkan hasil antara sampel dengan ozonisasi dengan sampel tanpa ozonisasi. Waktu pengambilan sampel ketiga adalah 50 menit setelah air sampel melewati rapid sand filter. Dengan waktu detensi 50 menit, filtration rate di rapid sand filter menjadi 1,2 m³/m².jam.

* Filtration rate 0,5 m³/m².jam

1. Sampel pertama adalah air baku yang diambil dari tandon (I) sebelum dipompa ke tandon atas (II).
2. Sampel kedua yaitu setelah melewati *slow sand filter*. Waktu detensi untuk mengalirkan air dari tandon II menuju *slow sand filter* adalah 2 jam, jadi untuk pengambilan air sampel dari slow sand filter setelah 2 jam. Pengambilan air sampel tidak boleh dilakukan sebelum 2 jam pengaliran untuk menghindari tercampurnya air hasil pengolahan yang sebelumnya.
3. Pengambilan sampel ketiga dilakukan setelah melewati ozon (tanpa ozonisasi) dan rapid sand filter. Waktu yang dibutuhkan untuk melewati reaktor ozon adalah 15 menit, kemudian air akan masuk ke rapid sand filter dan sampai keluar air dibutuhkan waktu detensi 30 menit. Pengambilan air sampel ketiga dilakukan setelah 30 menit pengolahan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Aklimatisasi Media Slow Sand Filter

Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara perendaman media pasir yang telah diayak selama kurang lebih 2 minggu. Tujuan dari proses aklimatisasi ini adalah untuk

menumbuhkan mikroorganisme pada media pasir *slow sand filter* yang nantinya dalam pengolahan air berfungsi mendegradasi kontaminan pada air baku. Media yang dilakukan aklimatisasi hanya pada media pada unit *slow sand filter*, media pada unit *rapid sand filter* tidak perlu dilakukan aklimatisasi karena fungsi dari *rapid sand filter* sendiri adalah untuk menyaring partikel yang masih tersisa dari unit sebelumnya sebelum air hasil pengolahan dikonsumsi.

B. Pengaruh Beban terhadap Efisiensi Penurunan Besi (Fe), Mangan (Mn) dan Kekeruhan

Hal pertama dan penting yang dilakukan dalam melakukan variasi filtration rate adalah pengaturan debit pada valve sebelum masuk ke unit pertama yaitu slow sand filter. Cara mendapatkan filtration rate 0,3 m³/m².jam adalah dengan mengatur (membuka dan menutup) stop kran pada pipa penghubung antara tandon atas dengan slow sand filter menggunakan beaker glass 1 L, stop watch hingga mendapatkan debit 125 ml/30 detik.

Hasil analisa yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai efisiensi dalam meremoval kontaminan pada tiap unit pengolahan mengalami fluktuasi. Hal ini dapat disebabkan karena beban yang masuk juga mengalami fluktuasi. Efisiensi removal besi, mangan dan kekeruhan yang belum stabil (naik/turun) ini disebabkan karena beban yang masuk mengalami penurunan/kenaikan yang tidak stabil pula dan mempengaruhi kinerja unit slow sand filter. Proses degradasi besi dan mangan pada unit slow sand filter dilakukan dengan cara mikroorganisme yang hidup pada media filter, akan mendegradasi pencemar sebagai makanan. Sedangkan kekeruhan pada slow sand filter ini mengalami proses filtrasi dengan kontak antara media dan air baku.

Unit selanjutnya yaitu proses ozonisasi oleh ozon generator. Hasil ozonasi terbaik adalah pada hari ke-1 sebesar **48.58%** dengan beban awal sebesar 8.80 mg/jam menjadi 4.52 mg/jam. Sehingga dapat dikatakan bahwa unit ozon bekerja maksimal pada beban 8 mg/jam. Kemampuan unit ozon dalam meremoval besi dan mangan sangat bergantung pada dosis ozon dalam air. Semakin sedikit dosis ozon dalam air, maka efisiensi removal ozon semakin rendah. Ditinjau dari jurnal yang didapatkan, banyaknya ozon yang dihasilkan dipengaruhi oleh faktor udara yang digunakan berasal dari udara bebas atau berasal dari senyawa oksigen murni. Dikatakan pula, apabila menggunakan oksigen, hasilnya dapat meningkat 4 kali dibanding menggunakan udara bebas.

Pada unit rapid sand filter, efisiensi removal terbaik terjadi pada hari ke-2 yaitu sebesar 81.88% dari beban awal sebesar 8.11mg/jam menjadi 2.07 mg/jam. Dari tabel 4.2 juga dapat dikatakan bahwa rapid sand filter efektif dalam meremoval mangan pada beban 8 – 9 mg/jam. Hasil yang didapatkan secara keseluruhan menunjukkan rapid sand filter belum stabil dalam mengolah air baku. Ketidakstabilan ini dikarenakan ukuran partikel yang yang dihasilkan dari proses ozonasi belum sepenuhnya menjadi flog, sehingga pada saat masuk pada unit rapid sand filter terdapat beberapa partikel yang masih lolos melewati pori. Ukuran partikel sangat mempengaruhi keefektifan rapid sand filter dalam menyaring air baku.

Efisiensi removal untuk parameter kekeruhan memiliki nilai efisiensi yang kecil, hal ini dikarenakan air

baku memiliki kekeruhan yang kecil yaitu < 5NTU. Nilai kekeruhan yang sangat kecil ini memungkinkan proses filtrasi yang dilakukan oleh unit penyaringan *slow sand filter* maupun *rapid sand filter* tidak bekerja optimum, sehingga nilai efisiensi removalnya kecil. Unit selanjutnya yaitu rapid sand filter. Pada unit ini terjadi penyaringan partikel yang dihasilkan maupun yang lolos dari pengolahan sebelumnya. Efisiensi removal *rapid sand filter* terbaik adalah pada hari ke-2 yaitu sebesar 40 % dari nilai 0.21 NTU menjadi 0.15 NTU. Ukuran partikel sangat mempengaruhi keefektifan rapid sand filter dalam menyaring air baku.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai terbesar efisiensi removal pada slow sand filter terhadap besi, mangan, dan kekeruhan :
 - Besi : efisiensi removal (84,13%) ; beban awal – akhir (16,76 mg/jam – 2,67 mg/jam).
 - Mangan : efisiensi removal (48,42%) ; beban awal – akhir (31,89 mg/jam – 16,45 mg/jam). Kekeruhan: efisiensi removal (89,21 %) ; kekeruhan awal – akhir (2,41 NTU – 0,26 NTU)
2. Nilai terbesar efisiensi removal pada unit ozon terhadap besi, mangan, dan kekeruhan :
 - Besi : efisiensi removal (75,4%) ; beban awal-akhir (16,76 mg/jam – 4,12 mg/jam).
 - Mangan : efisiensi removal (47,40%) ; beban awal – akhir (16,82 mg/jam – 8,85 mg/jam). Kekeruhan: efisiensi removal (35,83 %) ; kekeruhan awal – akhir (1,2 NTU – 0,77 NTU)
3. Nilai terbesar efisiensi removal pada unit rapid sand filter terhadap besi, mangan, dan kekeruhan :
 - Besi : efisiensi removal (79,63%) ; beban awal- akhir (3,06 mg/jam – 1,3 mg/jam).
 - Mangan : efisiensi removal (72,20%) ; beban awal – akhir (15,26 mg/jam – 4,57 mg/jam). Kekeruhan: efisiensi removal (64,94 %) ; kekeruhan awal – akhir (1,54 NTU – 0,54 NTU)

Adapun saran yang dapat diberikan guna dalam penyempurnaan penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai diameter media dan kecepatan aliran pada unit *slow sand filter* yang efektif dalam mengolah air sumur dangkal dekat sungai tercemar.
2. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai dosis ozon yang efektif untuk menguraikan besi dan mangan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bentuk dan letak baffle pada unit ozon, sehingga aliran air baku dapat terozonisasi dengan sempurna

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementrian Pendidikan Nasional Republik Indonesia yang memberikan bantuan finansial pada penelitian melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2010-2014”.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alaerts, G. dan Santika, S.S., 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- [2] Lin, E., Page, D., dan Pavelic, P. 2008. *A new method to evaluate polydisperse kaolinite clay particle removal in roughing filtration using colloid filtration theory*. Jurnal dari *Water Research* 42 (2008) 669 –676.
- [3] Pacini, A.V., Ingallinella, M.A., dan Sanguinetti, G. 2005. *“Removal of Iron and Manganese Using Biological Roughing Up Flow Filtration Technology”*. *Water Research*. Vol. 39. Halaman 4463 – 4475.
- [4] Schulz, C.R. and Okun, D.A. 1984. *Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries*. (Wiley - interscience). New York, NY, USA: Wiley; ITDG Publishing: London, UK.
- [5] Huismann, 1974, *Slow Sand Filter*, University of Technology, Netherlands.