

PENURUNAN MANGAN DENGAN APLIKASI FILTER DAN KARBON AKTIF

Zelna Ratna N.N. dan Yayok Suryo Purnomo

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
e-mail : zelnaratna@gmail.com

Abstrak

Filtrasi adalah proses pengolahan air secara fisik untuk menghilangkan partikel padat dalam air dengan melewatkan air tersebut melalui material berpori dengan diameter butiran dan ketebalan tertentu. Penelitian ini digunakan untuk mengolah air sumur yang mengandung logam Mn menggunakan metode filtrasi. Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai efisiensi tertinggi dari media filter zeolit alam, zeolit alam teraktivasi fisika dan manganese greensand yang dikombinasi dengan karbon aktif agar didapatkan efektivitas penurunan kadar Mn serta mengkaji perbedaan ketiganya melalui variasi debit dan ketebalan media. Variabel penelitian berupa : 1) Debit (Q) : 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3 liter/menit. 2) Ketebalan Media (cm) : 30, 40, 50, 60, 70 cm yang dikombinasi dengan karbon aktif dengan ketebalan 20 cm. Hasil persentase efisiensi penurunan Mn paling efektif pada penelitian ini adalah penurunan kadar Mn menggunakan kombinasi media filter manganese greensand – KA yaitu sebesar 80%. Dan persentase efisiensi penurunan kadar Mn paling rendah pada kombinasi media filter zeolit alam – KA yaitu sebesar 24%.

Kata Kunci : Filtrasi , Zeolit Alam, Zeolit Alam Teraktivasi, Manganese Greensand, Mn.

Abstract

Filtration is a physical water treatment process to remove solid particles in water by passing water through a porous material with a certain grain diameter and thickness. This study was used to treat well water containing Mn metal using the filtration method. This study aims to find the highest efficiency value of natural zeolite filter media, physics activated zeolite and manganese greensand combined with activated carbon in order to obtain effectiveness in decreasing Mn levels and assessing the differences between the three through variations in the discharge and thickness of the media. Research variables are: 1) Debit (Q): 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3 liters / minute. 2) Media thickness (cm): 30, 40, 50, 60, 70 cm combined with activated carbon with a thickness of 20 cm. The results of the most effective percentage reduction of Mn from this study are the percentage decrease in Mn levels using filter media manganese greensand – AC is equal to 80%. And the lowest percentage decrease in Mn levels in variations in the type of natural zeolite - AC is equal to 24%.

Keywords : *Filtration, Natural Zeolite, Activated Natural Zeolite, Manganese Greensand, Mn.*

PENDAHULUAN

Air yang ada di alam saat ini terutama di Indonesia sudah banyak yang tercemar, sehingga tidak layak dikonsumsi lagi karena kualitas air yang buruk. Air tanah menjadi salah satu pilihan bagi masyarakat sebagai sumber air baku. Namun demikian sering dijumpai sumber tanah yang banyak mengandung logam mangan (Mn). Sehingga air tanah tersebut tidak dapat langsung dikonsumsi untuk air minum.

Kandungan Mangan (Mn) yang diizinkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 416/Menkes/Per/IX/1990 tentang Pengawasan dan Syarat-syarat Kualitas Air yang digunakan untuk keperluan domestik yaitu dibawah 0,5 mg/l. Berdasarkan penelitian pendahuluan yang telah dilakukan, sampel air sumur di Kelurahan Sarirogo, Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo dari segi fisik tidak memenuhi syarat kualitas air bersih, yaitu air menimbulkan bau, rasa, dan keruh serta berwarna kuning kecoklatan. Sehingga diduga bahwa air tersebut mengandung logam Mangan (Mn). Oleh sebab itu, sampel tersebut dianalisis menggunakan Spektrofotometer dan didapatkan hasil bahwa kandungan mangan (Mn) melebihi NAB, dimana pada sampel kadar mangan (Mn) sebesar 2,31 mg/l.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk air bersih yang layak konsumsi yaitu dengan filtrasi (penyaringan). Filtrasi merupakan proses pengolahan air dimana air dipisahkan dari koloid dan zat pengotor yang dikandungnya, jumlah bakteri berkurang dan karakteristik kimia air tersebut berubah, dengan cara melewatkannya melalui media berpori (Nisaul dan Suprihanto, 2010).

Salah satu media filter yang dapat digunakan yaitu zeolit alam. Zeolit alam banyak ditemukan di Indonesia, khususnya pada lokasi yang secara geografis terletak di jalur pegunungan vulkanik. Posisi strategis Indonesia yang terletak di daerah jalur gunung vulkanik memberikan beberapa kelebihan, salah satunya sebagai negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam mineral yang beragam termasuk banyaknya lokasi sumber zeolit alam. Zeolit alam

memiliki harganya yang jauh lebih murah dari pada zeolit sintetis.

Namun zeolit alam memiliki beberapa kelemahan, di antaranya mengandung banyak pengotor serta kristalinitasnya kurang baik. Untuk memperbaiki karakter zeolit alam sehingga dapat digunakan sebagai katalis, absorben, atau aplikasi lainnya, dilakukan aktivasi atau modifikasi terlebih dahulu. Aktivasi zeolit alam secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan.

Zeolit adalah mineral kristal alumina silica tetrahidrat berpori yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi, terbentuk oleh tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ yang saling berhubungan oleh atom-atom oksigen sedemikian rupa, sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka yang mengandung kanal-kanal dan rongga-rongga, yang didalamnya terisi oleh ion-ion logam, biasanya adalah logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas (Rahmawati, N dan Sugito, 2015). Keadaan ini dapat dijelaskan bahwa masing-masing pori dan kanal dalam maupun antar kristal dianggap berbentuk silinder, maka luas permukaan total zeolit adalah akumulasi dari luas permukaan (dinding) pori dan kanal-kanal penyusun zeolit. Semakin banyak jumlah pori yang dimiliki, semakin besar luas permukaan total yang dimiliki zeolit (Sumarlin., et.al, 2009). Berdasarkan sifatnya tersebut zeolit dapat digunakan untuk proses adsorpsi, penukar ion, dan sebagai katalis sehingga zeolit berpotensi dalam menurunkan kadar mangan.

Selain zeolit alam, zeolit komersil yang sekarang mulai digunakan adalah *manganese greensand*. *Manganese greensand* adalah zeolit sintetis yang permukaannya dilapisi oleh mangan oksida tinggi. *Manganese greensand* ($\text{K}_2\text{Z.MnO.Mn}_2\text{O}_7$) berfungsi sebagai katalis dan pada waktu bersamaan besi dan mangan yang ada dalam air teroksidasi menjadi mangan oksida yang tak larut dalam air dan dapat dipisahkan dengan pengendapan dan penyaringan. (Said, 2005).

Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif sebagai media filter yang digunakan untuk pemurnian air, menghilangkan bau, rasa dan menyerap logam mangan.

Berdasarkan uraian di atas, adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kombinasi media filter zeolit, yaitu zeolit alam – karbon aktif, zeolit alam teraktivasi fisika – karbon aktif dan *manganese greensand* – karbon aktif yang paling efektif dalam menurunkan kadar mangan air sumur. Kemudian variabel bebas yang akan diteliti yaitu debit dan ketebalan media zeolit proses filtrasi aliran kontinyu.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan merupakan penelitian eksperimental yang menguji desain alat filtrasi (penyaringan) air dengan beberapa kombinasi jenis media filter yaitu zeolit alam – karbon aktif, zeolit lam teraktivasi fisika – karbon aktif dan manganese greensand – karbon aktif dengan ketebalan setiap media zeolit yang divariasikan.

Sampel air baku berasal dari Kelurahan Sarirogo, Kecamatan Sidoarjo, Kota Sidoarjo dengan kadar Mn yaitu sebesar 2,31 mg/liter.

Bahan dan Alat

Bahan

1. Sampel air sumur sebanyak 20 liter
2. Larutan Mn 1, Mn 2 dan Mn 3
3. Aquades
4. Zeolit alam ukuran butir 20 mesh
5. *Manganese greensand* ukuran butir 20 mesh
6. Karbon aktif arang tempurung kelapa ukuran butir 20 mesh

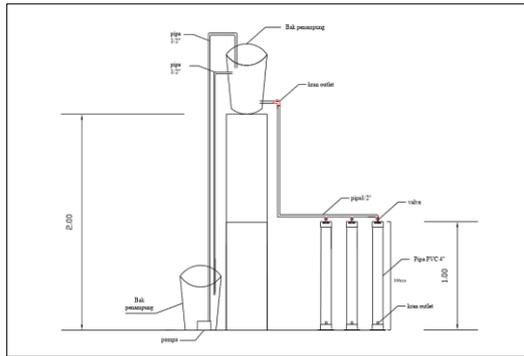
Alat

1. Bak penampung volume 25 liter
2. Botol sampel 600 ml
3. Pipa PVC 3 inc sebanyak 3 buah
4. Pipa PVC 1/2 inc
5. Pompa summersible
6. Ayakan sieve 20 mesh
7. Valve / kran

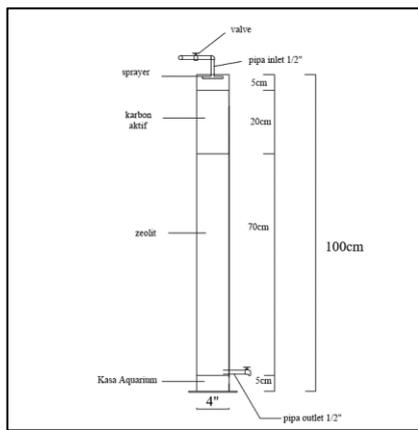
8. Sprayer
9. Oven
10. pH meter
11. Termometer
12. Spektrofotometri

Prosedur Kerja

1. Tahap Persiapan Media
 - Media filter zeolit alam, manganese greensand dan karbon aktif
Diayak agar didapatkan ukuran media 20 mesh, kemudian dicuci menggunakan aquades dan dijemur di bawah sinar matahari.
 - Media filter zeolit alam teraktivasi fisika
Diayak agar didapatkan ukuran media 20 mesh, kemudian dicuci menggunakan aquades dan di oven dengan suhu 200°C selama 2,5 jam
2. Sebelum dilakukan running *penelitian*, media filter diisi ke dalam reaktor filtrasi sesuai variasi yang ditetapkan.
3. Air sampel ditampung dalam bak penampung dengan volume 20 liter kemudian di pompa menuju bak volume 12 liter. Apabila volume air melebihi volume yang ditetapkan, air akan terbuang melalui pipa *over flow* kembali ke bak penampung yang ada di bawah.
4. Air akan mengalir menuju reaktor filtrasi ketika kran outlet bak volume dibuka. Buka kran diatur sesuai dengan debit total yang dibutuhkan untuk mengalir ketiga reaktor secara bersamaan.
5. Perhitungan waktu kontak air sampel dengan media ditentukan dengan menghitung volume reaktor dibagi debit/laju aliran. Saat air melalui media, kran outlet pipa 3” akan ditutup selama waktu kontak yang ditentukan. Setelah itu, kran outlet baru dibuka untuk sampling.
6. Air hasil pengolahan akan disimpan dalam botol sampel 600 ml.



Gambar -1: Reaktor Filtrasi



Gambar -2: Reaktor Filtrasi Tampak Samping

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah tabel hasil analisis persentase penurunan kadar mangan (Mn) yang dihasilkan oleh masing – masing media filter karbon aktif, zeolit alam, zeolit alam teraktivasi fisika dan *manganes greensand*:

Tabel -1: Hasil Analisa Persentase Penurunan Kadar Mangan pada Variabel Kontrol

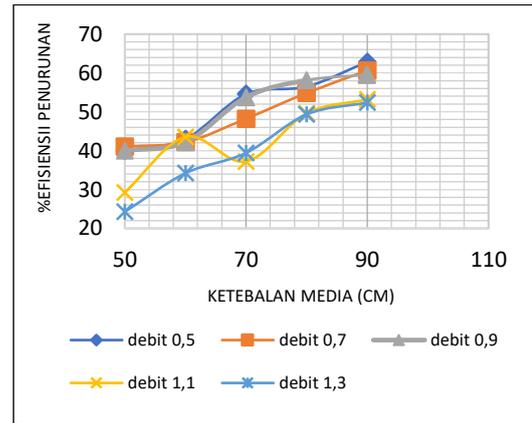
Media	Ketebalan Media (cm)	Kadar Mangan (mg/liter)		Efisiensi Penurunan (%)
		Awal	Akhir	
Karbon Aktif	20	2.3	1.4	40.8

(Sumber Data Primer : Laboratorium Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur)

Berdasarkan tabel 4.1, dapat dilihat bahwa media filter karbon aktif mampu menurunkan kadar mangan dari 2,3 mg/liter menjadi 1,4 mg/liter. Sehingga dapat dikatakan bahwa karbon aktif efektif dalam menurunkan kadar

mangan air sumur. Persentase efisiensi penurunan kadar mangan yang dihasilkan oleh media filter karbon aktif yaitu sebesar 40.8 %. Hal ini disebabkan karena minimnya kemampuan karbon aktif dalam menyerap Mn.

Berikut ini adalah grafik hasil penelitian pada setiap variasi kombinasi media filter :



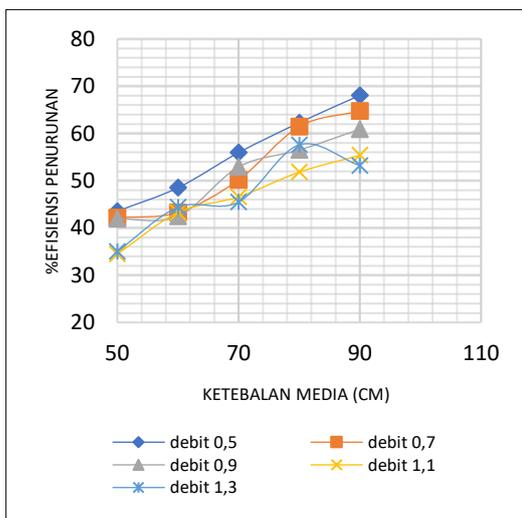
Gambar -3: Grafik Hubungan Variasi Ketebalan Media (cm) dan Debit (liter/menit) terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Mn (%) dengan Media Zeolit Alam – Karbon Aktif

Berdasarkan Gambar 3, menjelaskan bahwa persebaran nilai efisiensi penurunan kadar Mn cukup merata atau stabil. Persen efisiensi penurunan kadar mangan paling efektif pada ketebalan media filter zeolit alam 70 cm – karbon aktif 20 cm dan debit 0.5 liter/menit, yaitu sebesar 63%. Dan persentase penurunan kadar mangan paling rendah pada ketebalan media filter zeolit alam 30 cm – karbon aktif 20 cm dan debit 1,3 liter/menit, yaitu sebesar 24%.

Dapat dilihat bahwa debit dan ketebalan media berpengaruh terhadap efisiensi penurunan kadar mangan air sumur. Semakin kecil debit yang digunakan maka semakin besar efisiensi penurunannya, sebaliknya semakin besar debit yang digunakan maka semakin kecil efisiensi penurunannya. Hal ini disebabkan karena semakin kecil debit yang dialirkan, maka waktu kontak air dengan media filter semakin lama, sehingga efektivitas penurunannya semakin tinggi, sebaliknya apabila semakin besar debit, maka air berkontak dengan media semakin singkat

menyebabkan persentase efisiensi penurunannya semakin rendah.

Seperti halnya dengan debit, ketebalan media juga berpengaruh terhadap persentase efisiensi penurunan kadar mangan dimana semakin tebal media maka persentase penurunan kadar mangan semakin efektif. Hal ini dikarenakan semakin banyak media yang ditambahkan, maka semakin luas permukaan pori - pori yang dapat mengikat kation di dalam air sehingga kadar Mn di dalam air semakin berkurang.

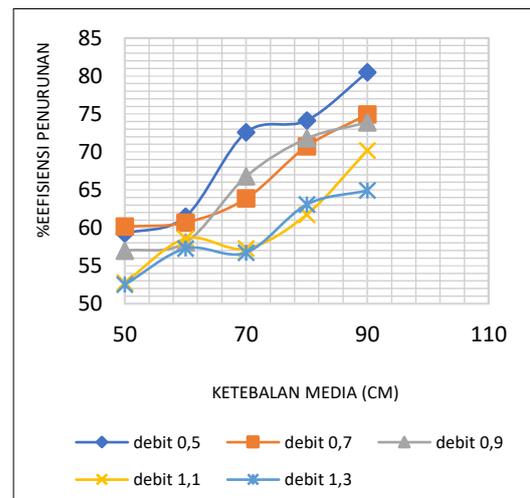


Gambar -4: Grafik Hubungan Variasi Ketebalan Media (cm) dan Debit (liter/menit) terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Mn (%) dengan Media Zeolit Alam Teraktivasi Fisika – Karbon Aktif

Berdasarkan Gambar, menjelaskan bahwa persebaran nilai efisiensi penurunan kadar Mn cukup merata atau stabil. Persen efisiensi penurunan kadar mangan paling efektif pada ketebalan media filter zeolit alam teraktivasi fisika 70 cm – karbon aktif 20 cm dan debit 0.5 liter/menit, yaitu sebesar 68%. Dan persentase penurunan kadar mangan paling rendah pada ketebalan media filter zeolit alam teraktivasi fisika 30 cm – karbon aktif 20 cm dan debit 1,1 liter/menit, yaitu sebesar 34%.

Dapat dilihat bahwa debit dan ketebalan media berpengaruh terhadap efisiensi penurunan kadar mangan air sumur. Semakin kecil debit yang digunakan maka semakin besar efisiensi penurunannya, sebaliknya semakin besar debit yang digunakan maka

semakin kecil efisiensi penurunannya. Hal ini disebabkan karena semakin kecil debit yang dialirkan, maka waktu kontak air dengan media filter semakin lama, sehingga efektivitas penurunannya semakin tinggi, sebaliknya apabila semakin besar debit, maka air berkontak dengan media semakin singkat menyebabkan persentase efisiensi penurunannya semakin rendah.



Gambar -5: Grafik Hubungan Variasi Ketebalan Media (cm) dan Debit (liter/menit) terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Mn (%) dengan Media Manganese Greensand – Karbon Aktif

Seperti halnya dengan debit, ketebalan media juga berpengaruh terhadap persentase efisiensi penurunan kadar mangan dimana semakin tebal media maka persentase penurunan kadar mangan semakin efektif. Hal ini dikarenakan semakin banyak media yang ditambahkan, maka semakin luas permukaan pori - pori yang dapat mengikat kation di dalam air sehingga kadar Mn di dalam air semakin berkurang. Namun pada variasi debit 1,3 lt/menit pada ketebalan media zeolit alam teraktivasi fisika 60 cm – karbon aktif 20 cm memiliki hasil persentase penurunan kadar mangan yang lebih efektif dibandingkan pada ketebalan media zeolit alam teraktivasi fisika 70 cm – karbon aktif 20 cm. Hal tersebut dapat diakibatkan karena kadar air dalam pori – pori media zeolit yang digunakan tidak terdehidrasi secara optimal saat dipanaskan di oven sehingga media kurang efektif dalam menyerap mangan (Mn).

Berdasarkan gambar 5, menjelaskan bahwa persebaran nilai efisiensi penurunan kadar Mn cukup merata atau stabil. Persen efisiensi penurunan kadar mangan paling efektif pada ketebalan media filter *manganese greensand* 70 cm – karbon aktif 20 cm dan debit 0.5 liter/menit, yaitu sebesar 80%. Dan persentase penurunan kadar mangan paling rendah pada ketebalan media filter *manganese greensand* 30 cm – karbon aktif 20 cm dan debit 1,3 liter/menit, yaitu sebesar 53%.

Pada kombinasi media filter zeolit alam – karbon aktif persentase penurunan kadar mangan paling efektif sebesar 63% pada ketebalan media zeolit alam 70 cm – karbon aktif 20 cm. Sedangkan pada kombinasi media filter zeolit alam teraktivasi fisika – karbon aktif persentase penurunan kadar mangan paling efektif sebesar 68% pada ketebalan media zeolit alam 70 cm – karbon aktif 20 cm. Persentase penurunan kadar mangan kombinasi media filter zeolit alam teraktivasi fisika – karbon aktif lebih efektif dibandingkan dengan kombinasi media filter zeolit alam – karbon aktif. Hal ini disebabkan karena, proses pengaktifan zeolit alam dengan pemanasan dalam oven bersuhu 200°C menghilangkan kadar air yang terperangkap dalam rongga rongga zeolit sehingga memperluas permukaan pori – porinya, sehingga meningkatkan daya serapnya.

Dalam penelitian ini juga didapatkan hasil bahwa zeolit dapat diaktivasi secara fisika dengan suhu 200°C selama 1,5 jam mampu menurunkan kadar Mn air sumur. Karena menurut Dian Kusuma dan Anthonius (2010), apabila zeolit dipanaskan melebihi temperatur maksimalnya, maka akan merusak struktur zeolit itu sendiri. Dengan rusaknya struktur di dalam kristal akan mengakibatkan berkurangnya ruang-ruang hampa dara di dalam zeolit dan akhirnya akan mengurangi daya adsorpsi zeolit.

Zeolit merupakan mineral yang memiliki rongga atau pori yang selektif dalam melakukan penyerapan. Sedangkan karbon aktif memiliki pori - pori yang lebih besar daripada zeolit. Hal ini menyebabkan karbon aktif dapat melakukan filtrasi terhadap

molekul yang bersifat non polar. Pori-pori yang dimiliki zeolit lebih kecil sehingga dapat melakukan penyerapan terhadap molekul polar, seperti Mn. Kedua sifat mineral dan mineraloid yang cenderung berbeda ini merupakan kombinasi yang bagus untuk melakukan penyerapan terhadap air (Utama, dkk, 2017).

Zeolit mempunyai sifat kimia dasar yang membuatnya mampu bertindak sebagai penukar ion yang baik. Selain itu zeolit mempunyai luas permukaan besar dengan distribusi ukuran pori yang kecil. Oleh karena itu zeolit mempunyai kemampuan mengurangi kandungan mangan dari dalam air yang besar melalui kemampuan adsorbsinya yang didukung dengan kemampuannya sebagai penukar ion. Efisiensi zeolit yang besar tersebut mungkin juga dikarenakan diameter pori-pori zeolit yang digunakan sesuai untuk penyaringan mangan.

Media filter zeolit merupakan senyawa dengan kation aktif yang bergerak dan umumnya bertindak sebagai penukar ion. Sedangkan keberadaan atom aluminium di dalam zeolit akan menyebabkan memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation, sehingga dapat digunakan untuk mengikat kation-kation pada air, seperti Mn. Dengan mengalirkan air baku pada filter zeolit, kation akan diikat oleh zeolit yang memiliki muatan negatif. Di samping itu, zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lain. Dengan demikian, zeolit berfungsi sebagai penukar ion dan adsorben dalam pengolahan air (Kusnaedi, 2010).

Mekanisme yang terjadi pada proses filtrasi menggunakan media *manganese greensand* adalah pertukaran ion. *Manganese greensand* ($K_2Z. MnO_2. Mn_2O_7$) adalah mineral yang dapat menukar elektron yang dapat mengoksidasi besi atau mangan yang larut dalam air menjadi bentuk yang tak larut yaitu menjadi mangan oksida, sehingga dapat dipisahkan dengan filtrasi (penyaringan).

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kombinasi variasi jenis media filter zeolit alam, zeolit teraktivasi fisika dan *manganese greensand* dengan karbon aktif yang paling

efektif dalam menurunkan kadar mangan air sumur di Kelurahan Sarirogo, Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo. Didapatkan hasil dari penelitian ini bahwa jenis zeolit yang paling efektif dalam menurunkan kadar Mn air sumur adalah *manganese greensand* – karbon aktif. Hal ini terjadi karena *manganese greensand* adalah zeolit sintetis yang permukaannya telah dilapisi oleh mangan oksida tinggi, sehingga efektivitas penurunan kadar mangan dengan media filter zeolit alam maupun zeolit alam teraktivasi fisika lebih rendah daripada *manganese greensand*.

PENUTUP

KESIMPULAN

1. Kombinasi media filter *manganese greensand* – karbon aktif paling efektif dalam menurunkan kandungan Mn dari 2,3 mg/l menjadi 0,5 mg/l dengan efisiensi penurunan sebesar 80% pada ketebalan media *manganese greensand* 70 cm – karbon aktif 20 cm dengan debit 0,5 liter/menit.
2. Pada kombinasi media filter zeolit alam – karbon aktif efisiensi penurunan kadar mangan paling efektif sebesar 63% pada ketebalan media zeolit alam 70 cm – karbon aktif 20 cm dengan debit 0,5 liter/menit. Sedangkan pada kombinasi media filter zeolit alam teraktivasi fisika – karbon aktif efisiensi penurunan kadar mangan paling efektif sebesar 68% pada ketebalan media zeolit alam 70 cm – karbon aktif 20 cm dengan debit 0,5 liter/menit.
3. Hal yang menyebabkan kombinasi media filter *manganese greensand* – karbon aktif lebih efektif dibandingkan media filter zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi fisika karena *manganese greensand* adalah zeolit sintetis yang permukaannya telah dilapisi oleh mangan oksida tinggi.
4. Penambahan media filter karbon aktif berpengaruh terhadap efektivitas penurunan kadar mangan (Mn) air sumur dimana apabila dikombinasikan dengan tiga jenis zeolit, maka efisiensi penurunannya semakin besar.
5. Dapat disimpulkan bahwa debit dan ketebalan media berpengaruh terhadap

efektivitas penurunan kadar mangan yang dihasilkan melalui proses filtrasi dimana semakin kecil debit yang dialirkan maka semakin besar efisiensi penurunannya. Dan apabila semakin tebal media yang digunakan, maka semakin besar efisiensi penurunannya.

SARAN

Masyarakat diharapkan dapat melakukan pengolahan menggunakan media filter zeolit alam, zeolit alam teraktivasi fisika dan *manganese greensand* dapat digunakan dalam memperbaiki kualitas air bersih. Dan diharapkan penelitian tentang media filter air bersih dapat dikembangkan dengan menggunakan berbagai media filter yang ada di alam Indonesia ini, sehingga dapat dipergunakan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Edisi 1. Yogyakarta. Andi Offset. hlm. 15-16.
- Agustiningtyas, Z., 2012, Optimasi Adsorpsi Ion Pb(II) Menggunakan Zeolit Alam Termodifikasi Ditizon, Departemen Kimia, FMIPA IPB, Bogor.
- Breck, D.W. 1974. *Zeolite Molecular Sieves*. John Willey Interscience : New York.
- Departemen Kesehatan RI. 1990. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 416/MEN.KES/PER/IX/1990 Tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Jakarta.
- Effendi. H. 2003. Telaah Kualitas Air, Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Fauziah, Adelina. 2010. Efektivitas Saringan Pasir Cepat Dalam Menurunkan Kadar Mangan (Mn) Pada Air Sumur Dengan Penambahan Kalium Permanganat (KMnO₄) 1%. Skripsi FKM USU : Medan.
- Huisman, L. and W. E. Wood. 1974. *Slow Sand Filtration* : Geneva World Health Organization.
- Lefond, S. J., 1983, Industrial minerals and rocks (Nonmetallic other than fuels), fifth 5 th edition, Vol. 2, AIME. Inc, New York.
- Oesman, Nastiti Maharani dan Sugito. 2017. Penurunan Logam Besi dan Mangan Menggunakan Filtrasi Media Zeolit dan

- Manganese Greensand. Surabaya :
Program Studi Teknik Lingkungan,
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas PGRI Adi Buana.
- Rahmawati A. 2009. Efisiensi Filter Pasir-
Zeolit dan Filter Pasir-Arang Tempurung
Kelapa dalam Rangkaian Unit
Pengolahan untuk Mengurangi
Kandungan Mangan dalam Air. Jurusan
Pendidikan Teknik dan Kejuruan FKIP
Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Razif, M., 1986."Diktat *Bangunan
Pengolahan Air Minum*" Jilid 2, Institut
Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Reynold, T.D. and Richards, P.A. 1996. *Unit
Operations and Processes in
Environmental Engineering*. PWS
Publishing Company : New York.
- Said, N.I. 2005. Metode Penghilangan Zat
Besi dan Mangan di dalam Penyediaan
Air Minum Domestik. *Jurnal Air
Indonesia (JAI)*.
- Sutarti, M. dan M. Rachmawati. 1994. Zeolit
: Tinjauan Literatur. Jakarta : Pusat
dokumentasi dan dan Informasi LIPI.