

PENERAPAN ADSORBSI, PERTUKARAN ION DAN VARIASI KETINGGIAN MEDIA FILTRASI DALAM MENINGKATKAN KUALITAS AIR SUMUR GALI

Joko Sutrisno, Muhammad Al Kholif, Pungut, Arifa Nur Rohma

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Jalan Dukuh Menanggal XII/4 Surabaya, 62345, Indonesia

E-mail: jsutrisno.adibuana@yahoo.com

Abstrak

Air sumur gali yang tidak memenuhi baku mutu memerlukan perlakuan agar memenuhi persyaratan estetika dan aman digunakan. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas air sumur gali adalah dengan menggunakan teknologi adsorpsi bermedia karbon aktif, pertukaran ion dengan manganese greensand dan filtrasi bermedia pasir silika. Tujuan penelitian ini yaitu mengkaji efisiensi dan efektivitas penurunan kadar kesadahan, total padatan terlarut (TDS), Mangan (Mn), dan total coliform pada air sumur gali setelah diberikan perlakuan. Pengambilan sampel dilakukan selama kurun waktu 2 jam, setiap selang waktu 30 menit. Pengukuran parameter dilakukan pada kolom adsorpsi dengan ketinggian media pasir silika 8 cm, 13 cm, 17 cm untuk mengetahui setiap perubahan parameter yang diteliti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penurunan tertinggi terjadi pada filtrasi pada ketinggian media pasir silika 17 cm yakni: kesadahan 39,37%, TDS 58,58%, Mn 90,27%, dan total coliform 61.88%, sedangkan perlakuan efektif untuk penurunan parameter kesadahan, TDS, Mn namun kurang efektif untuk parameter total coliform.

Kata Kunci: Air Sumur, Karbon Aktif, Manganese Greensand, Pasir Silika

Abstract

Water well that does not meet quality standards requires treatment to meet the aesthetic requirements and is safe to use. One effort to improve the quality of water well is using adsorption technology with activated carbon, ion exchange with manganese greensand, and silica sand media filtration. The purpose of this study is to assess the efficiency and effectiveness of reducing hardness, total dissolved solids (TDS), Manganese (Mn), and total coliform in water well after treatment. Sampling was carried out for 2 hours, every 30 minutes intervals. Parameter measurements were carried out on the adsorption column with the height of silica sand media 8 cm, 13 cm, 17 cm to determine each change in the parameters studied. The results showed that the highest reduction efficiency occurred infiltration at 17 cm silica sand media height, namely: hardness 39,37%, TDS 58.58%, Mn 90.27%, and total coliform 61.88%, while the effectiveness of the treatment for parameters: hardness, TDS, Mn but are less effective for the total coliform parameter.

Keywords: Activated Carbon, Water Well, Manganese Greensand, Silica Sand

PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih sebagaimana masyarakat Gresik dipenuhi di luar perpipaan yang disediakan PDAM *Giri Tirta*, sebagai sumber air bersih digunakan air tanah, sumur gali salah satu bentuk yang umum dijumpai di kawasan itu. Kandungan garam dan mineral yang terlarut melalui litosfer banyak terdapat di dalam air tanah. Potensi ancaman terhadap kesehatan diakibatkan oleh keberadaan garam yang mengandung partikel Mn, Fe, Total Dissolved Solid (TDS), kesadahan yang

terkandung dalam air tanah (Gleeson *et al.*, 2012). Air tanah berdasarkan kedalaman dikelompokkan ke dalam 2 jenis yakni: 1) air tanah dangkal (ADK) dan 2) air tanah dalam (ADL). Kualitas ADL lebih tinggi dibanding dengan ADL karena penyaringannya yang lebih tebal sehingga tidak mudah tercemar, sebaliknya ADL lebih mudah tercemar (Waltz, 2019).

Di daerah padat penduduk yang konstruksi sumur gali tidak memenuhi syarat konstruksi air tanah telah tercemar oleh limbah domestik dari septik

tank, saluran drainase dan lainnya (Gufran & Mawardi, 2019), sehingga hanya di daerah-daerah yang mempunyai kepadatan penduduk relatif rendah, air tanah dapat diperoleh dengan kualitas cukup baik. Kuantitas air tanah sebagai sumber air baku air bersih relatif cukup, namun bila ditinjau dari segi kontinuitas timbul permasalahan yakni pengambilan air yang dilakukan secara terus menerus berakibat terjadi penurunan muka air tanah tanah, sehingga harus dibatasi pengambilan air tanah (Suwarno, 2017).

Siklus hidrologi di alam dibutuhkan rantai waktu yang panjang, sehingga bila terjadi penurunan muka air tanah maka kekosongannya akan diisi oleh air laut. Peristiwa ini biasa disebut intrusi air laut. Kondisi ini telah banyak dijumpai khususnya di daerah-daerah dekat pantai atau laut seperti Jakarta dan Surabaya (Herdyansah & Rahmawati, 2017).

Ketersediaan air sebagai kebutuhan utama manusia maka syarat yang harus dipenuhi adalah estetika, aman dan ekonomis. Air sumur gali bersifat tidak aman jika kadar logam dan kandungan bakteri patogen terkandung dalam badan air tidak memenuhi baku mutu (Permenkes No. 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua Dan Pemandian Umum, 2017) disingkat Permenkes No. 32 Tahun 2017, dengan kata lain berbahaya bagi kesehatan maka diperlukan teknologi agar bahaya yang ditimbulkan dapat berkurang.

Penyelesaian yang ditawarkan terhadap permasalahan air sumur gali di atas yaitu dengan pengolahan sebagai berikut: adsorpsi dengan media karbon aktif; dilanjutkan dengan pertukaran ion dengan media *Manganese Greensand* lalu diikuti dengan filtrasi dengan variasi ketinggian media pasir silika.

Karbon aktif digunakan sebagai adsorben sebagai penyerap partikulat dalam air sumur gali misalnya logam, bahan organik maupun anorganik, *Manganese Greensand* sebagai pertukaran ion (*ion exchange*) yakni pertukaran partikel bermuatan positif dengan partikel bermuatan positif demikian juga sebaliknya, sedangkan pasir silika sebagai media filtrasi sebagai penyisihan partikel padatan halus yang terkandung pada air sumur gali.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini bersifat eksperimen yang dilaksanakan dalam skala laboratorium. Peralatan yang digunakan berupa reservoir air sumur gali, tabung atau kolom adsorpsi, pertukaran ion dan filtrasi. Kolom yang digunakan berbahan plastik berbentuk tabung dengan diameter 29 cm, tinggi 20 cm, dan volume 13,2 liter. Media yang digunakan: karbon aktif untuk adsorpsi, *Manganese Greensand* untuk pertukaran ion serta pasir silika untuk filtrasi. Variasi ketinggian digunakan pada media filtrasi pasir silika yaitu: pada filter 1 ketinggian 8 cm, filter 2 dengan ketinggian 13 cm dan pada filter 3 dengan ketinggian 17 cm. Adsorpsi dan pertukaran yakni: media karbon aktif dan *Manganese Greensand* ketinggian media yang sama sebesar 17 cm.

Sistem aliran yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem aliran kontinu dengan pengambilan sampel dilaksanakan setelah tercapai kondisi *steady state* yang ditandai dengan tidak adanya akumulasi dalam sistem atau debit input sama dengan debit output.

Pengukuran parameter dilaksanakan sebelum dan sesudah perlakuan, sebelum perlakuan pengukuran parameter dilakukan pada air baku berupa air sumur gali, pengukuran setelah perlakuan berupa air hasil olahan yakni setelah air baku dilewatkan pada perlakuan adsorpsi, pertukaran ion dan filtrasi. Parameter hasil olahan yang diamati yaitu efisiensi dan efektivitas penurunan kadar kesadahan, TDS, Mn dan *total coliform*. Pengambilan sampel olahan dilakukan setiap 30 menit sekali dalam kurun waktu 2 jam untuk mengetahui setiap perubahan yang ada. Sampel air sumur diambil pada salah satu air sumur gali warga di Desa Bulurejo, Kecamatan Benjeng, Kabupaten Gresik.

Analisis data yang terkumpul dilakukan dengan cara perhitungan efisiensi dinyatakan dalam persentase, sedangkan efektivitas dirujuk pada baku mutu Permenkes No. 32 Tahun 2017 untuk parameter yang dipermasalahkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Air sumur gali di Desa Bulurejo, Kecamatan Benjeng, Kabupaten Gresik telah dilakukan pengukuran pendahuluan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Awal Parameter Air Baku

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil
1	Kesadahan	mg/L	500	752,52*
2	TDS	mg/L	1000	1724*
3	Mn	mg/L	0,50	0,527*
4	Fe	Mg/L	1,00	0,524
5	Total Coliform	Koloni/100 ml	50	1600*

*Tidak memenuhi syarat baku mutu Permenkes No. 32 tahun 2017

Berdasarkan tabel 1. diketahui yang permasalahan air sumur gali adalah parameter kesadahan, TDS, Mn dan *total Coliform*, sedangkan setelah perlakuan dilakukan pengukuran kembali terhadap parameter yang dipermasalahakan.

Efisiensi Penurunan Kesadahan.

Air sadah (kaku) adalah air yang di dalamnya terkandung partikel bermuatan positif yakni: ion Ca^{2+} atau ion Mg^{2+} , bila kedua ion tersebut terdapat secara bersama-sama di dalam badan air maka disebut dengan kesadahan total.

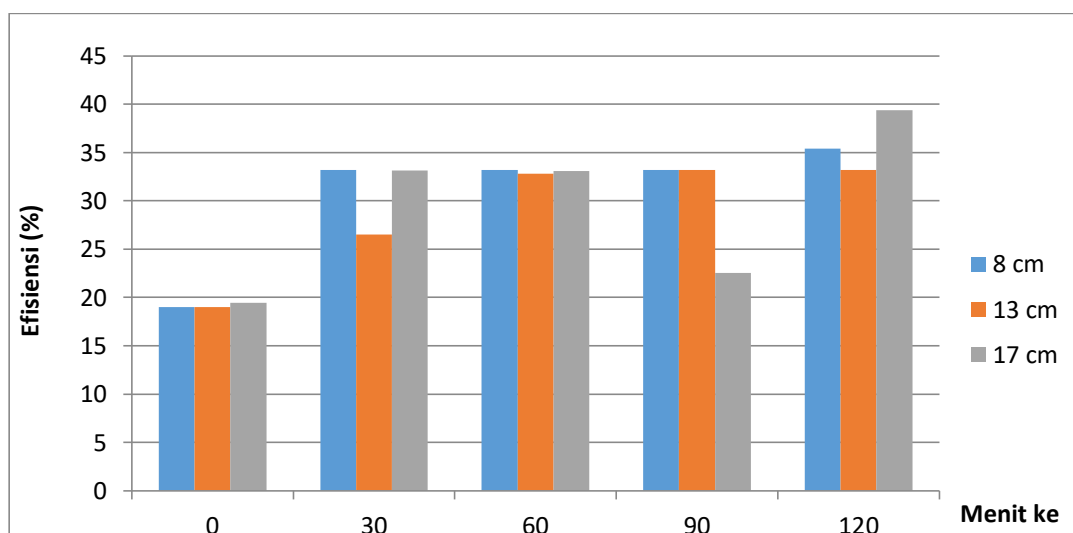
Pemborosan pemakaian sabun pada saat pencucian dan kenaikan titik didih air adalah akibat yang ditimbulkan karena sifat air sadah, dengan kata lain air sadah adalah air dengan kadar mineral tinggi,

sebaliknya jika kadar mineral rendah disebut air lunak (Yazid & Afda'u, 2016).

Penggolongan kesadahan didasarkan atas kandungan garam dibedakan dalam 2 macam yakni kesadahan sementara dan kesadahan tetap.

- 1) Kesadahan sementara bila ion Ca^{2+} atau ion Mg^{2+} bersenyawa dengan ion karbonat (CO_3^{2-}) atau bikarbonat (HCO_3^{-}).
- 2) Kesadahan tetap bila ion Ca^{2+} atau ion Mg^{2+} bersenyawa dengan ion klorida (Cl^{-}) atau ion sulfat (SO_4^{2-}).

Kesadahan sementara mudah untuk dihilangkan, sedangkan kesadahan tetap lebih sulit untuk dihilangkan (Chandler, 1989). Penurunan kesadahan ditunjukkan oleh kenaikan efisiensi penurunan kesadahan yang digambarkan pada gambar 1. berikut:



Gambar 1. Efisiensi penurunan Kadar Kesadahan dalam persen.

Berdasarkan gambar 1. maka efisiensi penurunan parameter kesadahan semakin lama selang waktu dengan perlakuan adsorpsi, pertukaran ion dan filtrasi semakin naik. Penurunan tertinggi hingga terendah berturut turut ketinggian media pasir silika 17 cm, ketinggian media pasir silika 8 cm, dan pasir silika 13 cm. Penurunan kesadahan yang

optimum terjadi pada filtrasi dengan ketinggian media pasir silika setinggi 17 cm dengan efisiensi sebesar 39,37% atau turun sekitar 296,27 mg/L. Penurunan yang dibutuhkan sekitar 252,52 mg/L atau minimal efisiensi penurunan 34% yang tercapai pada waktu 120 menit pada seluruh

ketinggian media filtrasi yang bermakna perlakuan efektif untuk parameter kesadahan.

Pada ketinggian media filtrasi 17 cm terjadi fluktuasi penurunan kadar kesadahan. Hal ini terkait dengan perubahan pH larutan yakni asam dan basa. Larutan yang terlalu asam, maka ion Hidrogen (H^+) dalam konsentrasi yang relatif tinggi sehingga terjadi persaingan dengan ion positif lain yakni Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam penyerapan oleh media filter, sedangkan pada kondisi yang terlalu basa atau pH tinggi maka ion OH^- dalam konsentrasi yang relatif tinggi sehingga cenderung bereaksi dengan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} sehingga terbentuk endapan $CaCO_3$ dan $Mg(OH)_2$ (Munawaroh dkk., 2016). Pada penelitian ini tidak dilakukan pengendalian terhadap pH larutan sehingga potensi fluktuasi konsentrasi kesadahan tidak dapat terkendalikan.

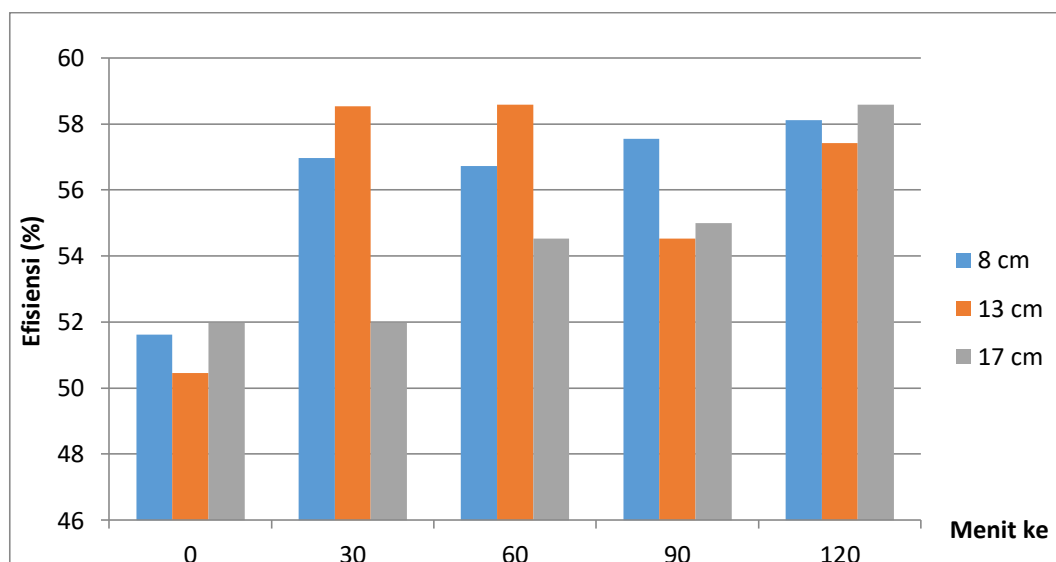
Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Nurullita U & Mifbakhuddin, 2010). yakni: ada pengaruh ketebalan media filtrasi terhadap penurunan kadar kesadahan, dengan rincian penggunaan tebal media dengan ketebalan: 60 cm, 70 cm, 80 cm diperoleh penurunan kesadahan sebesar 59%, 74% dan 86%, sedangkan penggabungan penggunaan pertukaran ion media zeolite dan dan adsorpsi arang aktif dengan ketebalan: 60 cm, 70 cm diperoleh penurunan kadar kesadahan sebesar 71,54%, dan 94,36% (Ristiana et al., 2009) (Ristiana dkk., 2009) Hasil penelitian didukung (Purwoto dkk., 2018) sehingga penurunan kadar kesadahan efektif pada level 265,634 ppm yakni terpenuhi baku mutu Permenkes No. 32 Tahun 2017. Efektivitas

penggunaan zeolit sebagai adsorben sebagai media tunggal terbukti lebih tinggi dibandingkan dengan dual media zeolit dan Karbon Aktif pada ketinggian yang sama (Rahmadhani, 2014).

Efisiensi Penurunan Total Dissolved Solids (TDS)

Padatan terlarut terdiri atas kation(partikel bermuatan positif) dan anion (partikel bermuatan negatif) yang terlarut didalam air (Oram, 2014). Total padatan terlarut (TDS) sebagai indikator jumlah partikel bermuatan yang terlarut dalam air, sifat dan hubungan antara ion tidak dapat dijelaskan dari hasil pengukuran ini dengan kata lain pengukuran bersifat kualitatif. Pengukuran TDS digunakan sebagai indikator kualitas air secara umum.

Limbah rumah tangga, limbah pertanian dan limbah industri adalah sumber utama TDS. Unsur kimia logam seperti Kalsium, Kalium, Natrium dan bukan logam seperti Fosfat, Nitrat serta Klorida dalam bentuk ion, molekul maupun aglomerasi molekul adalah partikel paling sering ditemukan dalam dalam TDS. Pelapukan adalah proses alami dalam jangka waktu panjang sehingga proses pelarutan garam mineral yang berasal dari bebatuan terjadi bila dilalui air, kejadian ini yang menyebabkan timbulnya TDS pada air tanah. (Brian, 2016). Penurunan TDS ditunjukkan oleh kenaikan efisiensi penurunan TDS yang digambarkan pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Efisiensi Penurunan Kadar TDS dalam persen

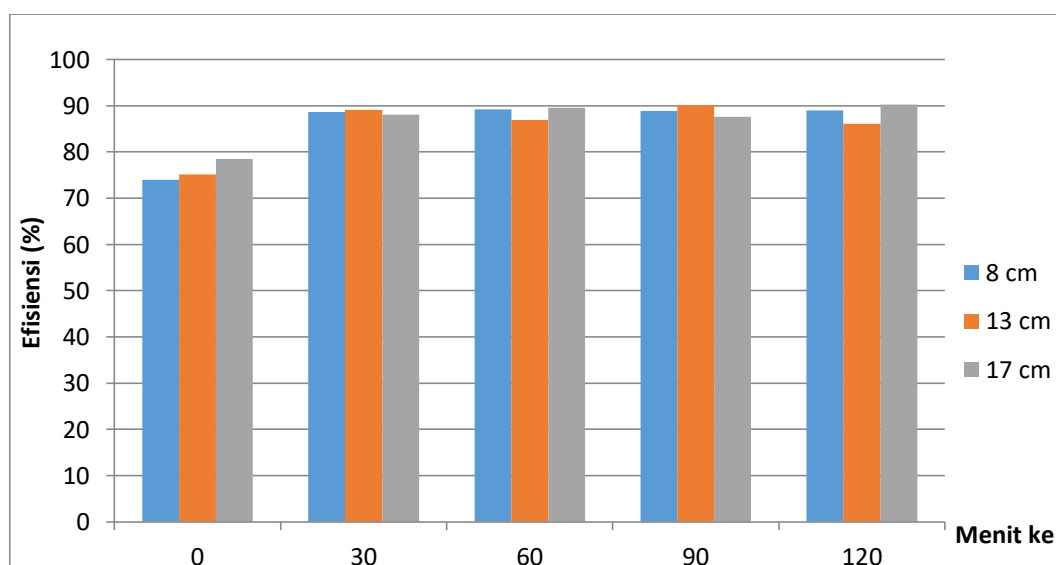
Efisiensi penurunan TDS pada semua ketinggian media pasir silika yakni 8 cm, 13 cm maupun 17 cm berada pada level lebih besar dari 50% dengan konsentrasi TDS tersisa lebih kecil dari 860 mg/L di bawah baku mutu sebesar 1000 mg/L. Hasil pengukuran TDS menunjukkan tidak terdapat pengaruh ketinggian media pasir silika terhadap penurunan TDS. Komposisi TDS terdiri atas partikel organik maupun anorganik dalam bentuk molekul, ion (partikel bermuatan) maupun koloid (Weber-Scannell & Duffy, 2007), sehingga penyisihannya TDS berlangsung secara efektif setelah dilakukan proses adsorpsi, pertukaran ion dan filtrasi. Penurunan TDS efektif terpenuhi karena berada di bawah baku mutu Permenkes No. 32 Tahun 2017, dapat dimaknai proses adsorpsi, pertukaran ion maupun filtrasi berlangsung secara efisien dan efektif.

Hasil penelitian yakni efisiensi penurunan kadar TDS tertinggi pada menit ke-60 dan ke-120 pada ketinggian media pasir silika 12 cm dan ketinggian media pasir silika 17 cm yaitu 58,58%. Perlakuan adsorpsi, pertukaran ion dan filtrasi belum tercapai kondisi jenuh untuk semua perlakuan sehingga efisiensi penurunan kadar TDS tidak terdapat pengaruh perbedaan ketinggian media terhadap penyisihan TDS. Kondisi ini berbeda dengan penelitian (Nurhayati dkk., 2015) dengan perolehan efisiensi 68,22 % ketebalan arang aktif

setinggi 20 cm lebih baik daripada ketebalan arang aktif 10 cm yang memperoleh efisiensi 66,33 %, karena dengan semakin banyak media arang aktif semakin banyak kadar TDS yang di adsorpsi oleh arang aktif. Pengaruh ketebalan atau ketinggian media filtrasi (Anwar Fuadi, 2016) diperoleh simpulan semakin tebal pasir saringan, maka kualitas TDS air sumur bor semakin baik, demikian juga sebaliknya, namun pada penelitian ini hasilnya berbeda karena perlakuan yang berbeda.

Efisiensi Penurunan Mangan (Mn)

Mangan (Mn) termasuk logam esensial yang dibutuhkan tubuh manusia. Keberadaan Mn banyak ditemukan pada organ: hati, tulang, dan ginjal. Kinerja Mn pada organ manusia yakni: memperlancar kinerja hati (liver) pada produksi urea, *superoxide dismutase*, karboksilase piruvat, dan enzim glikoneogenesis sedangkan pada otak kinerja logam Mn bekerja sama dengan enzim glutamine sintetase. Pada sisi lain logam Mn bersifat pencemar yang berpotensi menimbulkan efek toksik pada manusia. Paparan Mn dapat berakibat gangguan otak degeneratif, yang disebut sebagai manganisme (Milatovic et al., 2017). Efisiensi penurunan Mn pada semua ketinggian media pasir silika tersaji pada gambar 3. sebagai berikut:



Gambar 3. Efisiensi Penurunan Kadar Mn dalam persen

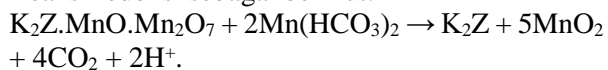
Efisiensi penurunan Mn pada penelitian ini lebih tinggi daripada penelitian kombinasi manganese greensand dan karbon aktif (Purnomo & Ratna N.N., 2020). Perbedaan efisiensi terjadi karena perlakuan yang berbeda pada penelitian ini terdapat 3 perlakuan yakni adsorpsi dengan media karbon aktif, pertukaran ion dengan media

manganese greensand dan filtrasi dengan media pasir silika.

Filtrasi bertujuan untuk menyisihkan Mn yang terendapkan dalam bentuk oksida. Proses oksidasi dikemukakan oleh (Purwoto dkk., 2018) bahwa *manganese greensand* selain berdiameter paling

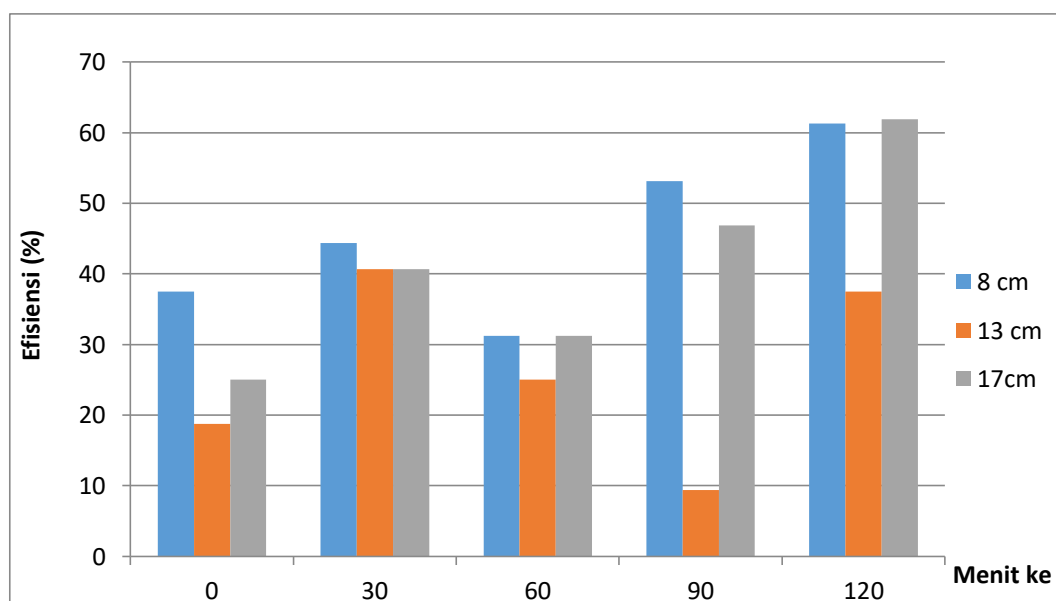
kecil, $K_2Z.MnO$. Mn_2O_7 dapat berfungsi sebagai katalis sehingga Mn yang ada dalam air, teroksidasi menjadi bentuk mangan dioksida yang tidak larut dalam air.

Reaksi redoks sebagai berikut:



Pada reaksi ini dihasilkan endapan berupa MnO_2 yang tidak larut dalam air sehingga dapat disisihkan dengan cara filtrasi pasir silika. Penurunan kadar Mn terjadi akibat perlakuan berupa adsorpsi dengan media arang aktif, pertukaran ion dengan media *manganese greensand* dan filtrasi dengan media pasir silika dinilai efektif karena telah sesuai dengan baku mutu Permenkes Nomor 32 Tahun 2017.

Efisiensi Penurunan Total Coliform



Gambar 4. Efisiensi Penurunan Nilai Total Coliform dalam persen

Kandungan total *coliform* pada air sumur gali mula-mula sebesar 1600 koloni/100 ml, sedangkan baku mutu Permenkes No, 32 tahun 2017 sebesar 50 koloni/100 ml. Penurunan total *coliform* tertinggi terjadi pada filtrasi dengan ketinggian media pasir silika dari 17 cm efisiensi tertinggi sebesar 61,88% atau turun sebesar 990 koloni/100 ml sehingga sisa kandungan total *coliform* dalam badan air lebih dari 600 koloni/100 ml yang berarti lebih besar dari 50 koloni/100 ml. Kandungan *coliform* yang tersisa di dalam badan tidak memenuhi syarat air syarat baku mutu berdasarkan Permekes No. 32 Tahun 2017, sehingga perlakuan berupa adsorpsi, pertukaran ion dan filtrasi tidak efektif dalam penurunan kandungan total *Coliform*.

Coliform adalah bakteri yang terdapat dalam tinja digunakan sebagai petunjuk bahwa telah terjadi kontaminasi bakteri berasal dari manusia atau binatang berdarah panas. Kadar *coliform* yang tinggi dalam badan air berpengaruh terhadap kesehatan, ekonomi maupun kesehatan lingkungan

Jumlah *coliform* yang tinggi digunakan sebagai petunjuk banyaknya limbah tinja maupun kotoran ternak pada aliran air permukaan (sungai, danau). Keberadaan *coliform* sebagai indikator badan air berbahaya bagi kesehatan karena didalamnya terdapat virus dan bakteri patogen. Penyakit yang ditimbulkan oleh bakteri *coliform* misalnya: sakit perut, diare, infeksi telinga dan ruam, bahkan bakteri patogen ini sebagai sumber penyakit hepatitis (Butle, 2010). Efisiensi penurunan kandungan total *coliform* disajikan pada gambar 4. sebagai berikut:

Pada penelitian ini filter yang digunakan tidak sesuai dengan persyaratan saringan filter pasir lambat yang efektif digunakan dalam penyisihan bakteri *coliform*. Filtrasi pasir lambat lebih efektif digunakan dalam penyisihan total *coliform* (Maryani et al., 2014) penurunan mencapai 99%, sedangkan untuk rancang bangun filter lambat (Kurniawan, 2014) dan (Nusa & Wahjono, 1999) dapat digunakan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa efisiensi tertinggi penurunan kesadahan 39,37%, TDS 58,58%, Mn 90,27%, total *coliform* 61,88%,

tercapai pada perlakuan adsorbs, pertukaran ion serta filtrasi dengan ketinggian media pasir silika 17 cm. Perlakuan efektif untuk penurunan parameter kesadahan, TDS, Mn namun kurang efektif untuk parameter total *coliform*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar Fuadi, A. F. (2016). PENGARUH DIAMETER DAN KETEBALAN PASIR PADA SARINGAN TERHADAP TOTAL SOLID DALAM AIR. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*. <https://doi.org/10.30811/jstr.v1i1.21>
- Brian, O. (2016). Total Dissolved Solids and Water Quality. In *Water Research Center*.
- Butle, A. (2010). Focus on Fecal Coliform Bacteria. *Washington State Departament of Ecology*.
- Chandler, J. (1989). Water hardness. *Water Well Journal*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_230471
- Gleeson, T., Alley, W. M., Allen, D. M., Sophocleous, M. A., Zhou, Y., Taniguchi, M., & Vandersteen, J. (2012). Towards sustainable groundwater use: Setting long-term goals, backcasting, and managing adaptively. *Ground Water*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2011.00825.x>
- Gufuran, M., & Mawardi, M. (2019). Dampak Pembuangan Limbah Domestik terhadap Pencemaran Air Tanah di Kabupaten Pidie Jaya. *Jurnal Serambi Engineering*. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i1.852>
- Herdyansah, A., & Rahmawati, D. (2017). Dampak Intrusi Air Laut pada Kawasan Pesisir Surabaya Timur. *Jurnal Teknik ITS*. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25863>
- Kurniawan, A. (2014). RANCANG BANGUN SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK TERPADU (COMPACT SYSTEM). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v2i1.6933>
- Maryani, D., Maryani, D., Masduqi, A., & Moesriati, A. (2014). Pengaruh Ketebalan Media dan Rate filtrasi pada Sand Filter dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform. *Jurnal Teknik ITS*.
- Milatovic, D., Gupta, R. C., Yin, Z., Zaja-Milatovic, S., & Aschner, M. (2017). Manganese. In *Reproductive and Developmental Toxicology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804239-7.00032-9>
- Munawaroh, R., Masturi, M., Yulianti, I., & Sumarli, S. (2016). FILTRASI AIR KAPUR DENGAN MEMANFAATKAN KARBON KULIT BUAH KAPUK RANDU DAN ZEOLIT. <https://doi.org/10.21009/0305020605>
- Nurhayati, I., Sutrisno, J., Tebu, A., & Aktif, K. (2015). Arang Aktif Ampas Tebu Sebagai Media Adsorpsi Untuk Meningkatkan Kualitas Air Sumur Galian. *Teknik Waktu*.
- Nurullita U, & Mifbakhuddin. (2010). Manipulasi Waktu Tinggal dan Tebal Media Filter Tempurung Kelapa terhadap Penurunan BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) Air Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Unimus*.
- Nusa, & Wahjono. (1999). Teknologi Pengolahan Air Bersih Dengan Proses Saringan Pasir Lambat " Up Flow ". *Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi*.
- Oram, B. (2014). *Total Dissolved Solids and Water Quality*. Water Research Center.
- Permenkes No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum, Peraturan Menteri kesehatan Republik Indonesia (2017).
- Purnomo, Y. S., & Ratna N.N., Z. (2020). PENURUNAN MANGAN DENGAN APLIKASI FILTER DAN KARBON AKTIF. *JURNAL ENVIROTEK*. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v11i2.6>
- Purwoto, S., Rusdiyantoro, & Sembodo, B. P. (2018). Treatment Koagulan, Filtrasi, Ferrolite, Manganese Greensand, Dan Resin Pada Air Baku Dalam Penurunan TDS, Kekeruhan, Kesadahan, Khlorida, Mangan, Dan E. Koli. *Jurnal Teknik Waktu*.
- Rahmadhani, D. S. (2014). Perbedaan Keefektifan Media Filter Zeolit Dengan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Kesadahan Air Sumur Di Desa Kismoyoso Ngemplak Boyolali. *Kesehatan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Ristiana, N., Astuti, D., & Kurniawan, T. P. (2009). Keefektifan Ketebalan Kombinasi Zeolit Dengan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Kesadahan Air Sumur Di Karangatengah Weru Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Kesehatan*. <https://doi.org/10.1007/BF02307707>
- Suwarno, S. (2017). Bahaya Pemompaan Air Tanah Terhadap Land Subsidence Pada Lapisan Tanah Lunak. *Simposium II UNIID 2017*.
- Waltz, J. P. (2019). Ground water. In *Introduction to Physical Hydrology*. <https://doi.org/10.4324/9780429273339-10>
- Weber-Scannell, P. K., & Duffy, L. K. (2007). Effects of total dissolved solids on aquatic organisms: A review of literature and recommendation for salmonid species. In *American Journal of Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2007.1.6>
- Yazid, E. A., & Afdal'u, A. F. (2016). Penurunan Kesadahan Dengan Pendidihan Pada Air Sumur Gali Di Desa Sidokumpul, Kecamatan Bungah, Gresik. *Sains*.