

PENURUNAN FE DAN MN PADA AIR SUMUR MENGUNAKAN *MULTIPLE TRAY AERATOR* PIRAMIDA

Delia Ayu Arif Putri dan Mohammad Mirwan

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran
Jawa Timur Email: deliaarif14@gmail.com

ABSTRAK

Air bersih merupakan kebutuhan primer bagi manusia. Tidak seimbangnya ketersediaan air bersih dengan pesatnya pertumbuhan penduduk menimbulkan dampak pada pendistribusian air bersih yang tidak merata. Kondisi tersebut membuat masyarakat mencari sumber air bersih lain seperti air sumur. Air sumur sebagai alternatif air bersih sering didapati mengandung besi (Fe) dan (Mn). Kandungan Fe dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti rasa mual ketika dikonsumsi, rusaknya dinding usus dan iritasi pada mata dan kulit. Sementara kandungan Mn yang diatas baku mutu dapat menyebabkan gangguan pada pembuluh vaskuler, jantung dan sistem saraf. *Multiple tray aerator* piramida adalah aerasi dengan menggunakan susunan nampan yang tidak membutuhkan lahan yang luas serta memiliki efisiensi tinggi. Penelitian ini menggunakan variasi jumlah tingkatan *tray* (1 tingkatan, 2 tingkatan, 3 tingkatan, 4 tingkatan dan 5 tingkatan) dan waktu aerasi (15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 75 menit) untuk mengetahui pengaruh terhadap penurunan kadar Fe dan Mn serta menemukan tingkatan dan waktu paling efektif. Hasil penelitian menunjukkan *multiple tray aerator* tingkat 4 dengan waktu aerasi selama 75 menit memiliki efektifitas tertinggi sebesar 83.39% untuk besi dan 98.14% untuk mangan.

Kata kunci: Air Sumur, *Multiple Tray Aerator*, Besi dan Mangan.

ABSTRACT

Clean water is one of the human primary necessities. The imbalanced between clean water availability and rapid population growth impacts with unequal clean water distribution. These conditions make people look for other sources of clean water such as well water. Aside from clean water, well water as an alternative is often found to contain iron (Fe) and manganese (Mn). The content of Fe can cause health problems such as nausea when consumed, damage to the intestinal wall and irritation to the eyes and skin. While Mn content that is above the quality standard can cause interference with the vascular vessels, heart, and nervous system. Multiple tray aerator pyramid is an aeration unit using some trays arrangement that does not require large land and has high efficiency. This study used variations in the number of tray levels (1 level, 2 levels, 3 levels, 4 levels, and 5 levels) and aeration time (15 minutes, 30 minutes, 45 minutes, 60 minutes, and 75 minutes) to determine the effect on decreasing Fe and Mn and find the most effective level and aeration time. The results showed the 4th level of multiple tray aerators with 75 minutes aeration time had the highest effectiveness of 83.39% for iron and 98.14% for manganese.

Keywords: Well water, *Multiple Tray Aerators*, Iron and Manganese

PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih seharusnya seimbang dengan pesatnya pertumbuhan penduduk sehingga air bersih dapat didistribusikan secara merata kepada masyarakat. Tetapi air bersih belum terdistribusikan secara merata. Hal ini terjadi di Kabupaten Sidoarjo dimana PDAM sebagai salah satu pemasok air bersih belum mendistribusikan air bersih secara maksimal. Daerah yang tidak teraliri air bersih dari PDAM salah satunya adalah Kecamatan Sukodono. Kondisi tersebut membuat masyarakat setempat mencari sumber air bersih lain seperti air sumur.

Air sumur sebagai alternatif air bersih sering didapati mengandung besi (Fe) dan (Mn). Kandungan Fe dan Mn tersebut menyebabkan warna kuning-kecoklatan dan meninggalkan noda kuning pada kain. Kandungan Fe dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti rasa mual ketika dikonsumsi, rusaknya dinding usus dan iritasi pada mata dan kulit (Indarti Trisetyani, 2014). Sementara kandungan Mn yang diatas baku mutu dapat menyebabkan gangguan pada pembuluh vaskuler, jantung dan sistem saraf (Zairinayati & afni maftukhah, 2019). Berdasarkan hal tersebut pemerintah menetapkan baku mutu air bersih dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416/Men.Kes/Per/IX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Kandungan besi terlarut yang diijinkan adalah sebesar 1 mg/L dan kandungan Mn maksimal adalah 0.5 mg/L.

Sampel air sumur Kecamatan Sukodono memiliki sifat fisik yang menunjukkan adanya pencemaran seperti bau menyengat, warna kuning kecoklatan dan meninggalkan bercak pada dinding bak atau pada pakaian. Hal tersebut mengindikasikan adanya parameter pencemar berupa besi dan mangan yang terlarut. Sampel air sumur menunjukkan bahwa kandungan Fe, Mn dan bau melebihi nilai ambang batas (NAB) yang telah ditetapkan. Pengolahan air sumur mengandung Fe dan Mn dapat dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah aerasi.

Aerasi merupakan proses pengolahan dengan cara mengontakan air dengan udara guna meningkatkan kadungan oksigen terlarut. Aerasi juga dapat mengurangi kandungan

karbon dioksida serta menyisihkan *volatile organic compounds* (VOC) yang dapat menimbulkan rasa dan bau pada air seperti H₂S dan metana. Hal tersebut menjadikan aerasi sebagai salah satu proses yang ada pada pengolahan air bersih bahkan air minum. Namun penyisihan kandungan CO₂ dapat menimbulkan masalah baru yaitu terbentuknya endapan kalsium karbonat karena tidak tercapainya keseimbangan karbonat-bikarbonat di dalam air. Aerasi sering digunakan untuk mengolah air tanah yang memiliki kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan kadar tinggi. Ciri-ciri air mengandung besi dan mangan adalah rasa pahit dan air berwarna hitam kecoklatan. Kedua zat tersebut dapat meninggalkan noda pada pakaian serta pada peralatan di kamar mandi (Said, 2005).

Aerator memiliki beberapa jenis salah satunya adalah *multiple tray aerator*. Aerator jenis ini memiliki susunan yang sederhana, ekonomis dan tidak membutuhkan ruangan yang luas. Terdiri dari 4-8 *tray* dengan penataan *vertical* maupun *pyramid*. Bahan pembuat *tray* dapat berupa semen, asbes, plastic PVC, logam, kayu. Pemerataan sebaran air dilakukan dengan pengisian kerikil kasar dengan ketebalan ±10cm di dalam *tray*. Isian juga dapat berupa lapisan batu apung atau arang yang berperan sebagai katalisator dan meningkatkan penggumpalan besi dalam air. Menurut ASCE & AWWA (1997) jarak antar *tray* biasanya adalah 20-75 cm dan debit sebesar 50-75 m³/hari. Sementara menurut (Popel, 1974), variasi jarak antar *tray* berkisar 30-43 cm dengan media berukuran 2,5-15 cm.

Transfer gas pada unit *multiple tray aerator* berlangsung secara alami, beberapa indikator yang memengaruhi proses transfer oksigen antara lain luas permukaan (A/V), jarak antar *tray* yang mempengaruhi ketinggian total menara dan debit air serta debit udara. Transportasi oksigen dari fasa gas ke fasa cair memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu suhu, kejenuhan oksigen, karakteristik air dan turbulensi aliran.

Proses aerasi menggunakan *multiple tray aerator* piramida memungkinkan terjadinya proses oksidasi dari senyawa unsur Fe dalam bentuk ferro (Fe²⁺) menjadi bentuk ferri (Fe³⁺). Senyawa ferro bervalensi dua

(divalent) cenderung memiliki sifat mudah larut dalam air sehingga senyawa tersebut harus diubah kedalam bentuk ferri yang bervalensi 3 (Said, 2005). Hidroksida besi bervalensi 2 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ yang masih memiliki kelarutan tinggi di dalam air mengalami proses oksidasi melalui unit aerasi sehingga akan terjadi reaksi (ion) menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$. (Ali & Assomadi, 2012). Kadar Fe air tanah biasanya lebih besar dibandingkan dengan air permukaan. Air tanah secara alami dapat mengandung Fe dengan kadar 1-10 mg/l. Secara stoikiometri dibutuhkan 0.143 mg/l oksigen untuk mengoksidasi 1 mg/l besi. Menurut reaksi oksidasi bahwa tiap 1 mg/l Fe^{2+} akan menghasilkan 1,913 mg/l endapan besi (Rahmawati & Mangkoedihardjo, 2010).

Kadar mangan dalam perairan alami sekitar 0,2 mg/liter atau kurang. Kadar yang lebih besar dapat terjadi pada air tanah dalam dan pada danau yang dalam. Jika dibiarkan di udara terbuka dan mendapat cukup oksigen, air dengan kadar mangan (Mn^{2+}) tinggi kan membentuk koloid karena terjadinya proses oksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{4+} (Hastutiningrum, Purnawan, & Nurmaitawati, 2015).

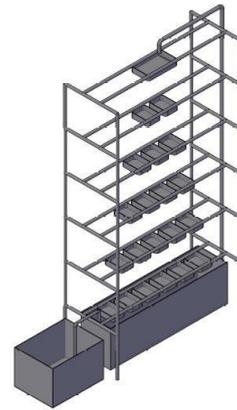
Sistem hidrodinamik memiliki dampak penting pada transfer oksigen. Dalam kaskade bertahap, ada tiga rezim aliran utama: *nappe regime*, *transition regime* dan *skimming regime* (Chanson, 1994 dalam Khdhiri, Potier, & Leclerc, 2014):

- Nappe Flow*: Aliran air jatuh berturut-turut dan biasanya terjadi pada debit air yang rendah.
- Skimming Flow*: Aliran air pada zona resirkulasi dengan sumbu horizontal berlangsung di tepi luar. Vortisitas ini dipertahankan di antara tegangan geser. Secara umum, jenis aliran ini terjadi untuk debit tinggi atau jangka panjang.
- Transition Flow*: Aliran ini adalah aliran menengah yang merepresentasikan zona transisi antara rezim *nappe* dan *skimming flow*. Aliran ini diperkenalkan untuk pertama kalinya oleh Ohtsu dan Yasuda pada tahun 1997.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berlangsung di rumah dikarenakan pandemi yang belum mereda. Uji awal dilakukan di UPT Laboratorium Uji

Kualitas Lingkungan DLH Provinsi Jawa Timur.



Gambar -1: Reaktor *Multiple Tray Aerator* Piramida

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu bak penampung, bak distribusi, *tray aerator*, 1 buah pompa, pipa PVC, selang air, *valve*, DO meter, pH meter, *beaker glass* 10 mL, pipet ukur 1 mL dan *filler*. Sedangkan bahan yang digunakan adalah air sumur Desa Masangan Wetan, Kecamatan Sukodono, Sidoarjo. Jarak vertikal tiap tingkatan *tray* adalah 35cm dan jarak horizontal antar *tray* adalah 5cm.

Langkah kerja pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan Analisa awal untuk parameter Fe, Mn, DO, pH dan suhu.
- Merangkai alat pemasangan instalasi aerasi seperti pemasangan kerangka, *tray aerator* dan pompa. *Tray* distribusi dilubangi dan disambungkan dengan pipa yang akan membagi debit agar air dapat terdistribusi secara merata.
- Mengisi bak penampung dengan air sumur. Kemudian menyiapkan *tray aerator* 1 tingkat.
- Menyalakan pompa untuk memulai proses aerasi.
- Melakukan aerasi selama 15 menit. Air yang telah diaerasi dialirkan ke bak sedimentasi untuk diendapkan selama satu jam.
- Melakukan *sampling* air sumur yang telah diaerasi dan diendapkan untuk melakukan analisa akhir semua parameter.
- Mengulangi langkah nomor 5 dengan mengisi air sumur baru dan melakukan aerasi selama 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 75 menit.

- Mengulangi langkah nomor 3 sampai 7 secara bergantian. Setiap pergantian waktu aerasi maupun tingkatan *tray* melakukan pengisian air sumur baru serta mengganti tingkatan *tray* menjadi *tray aerator* tingkat 2, 3, 4, dan 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Awal Air Sumur

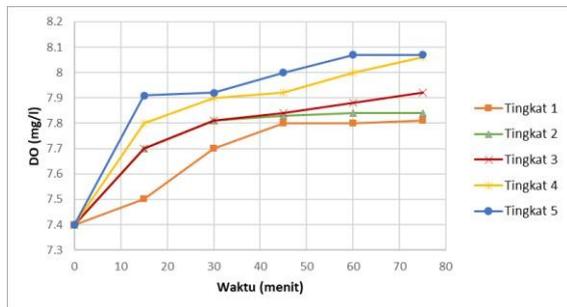
Penelitian ini menggunakan air sumur di Desa Masangan Wetan, Kelurahan Sukodono, Sidoarjo yang secara fisiologis memiliki warna kuning

kecokelatan,baubesi dan meninggalkan bercak kekuningan di dinding atau bak. Hal ini mengindikasikan bahwa air sumur di desa tersebut mengandung Fe dan Mn. Pengujian awal sampel air sumur dilakukan untuk memastikan seberapa besar kadar dari Fe dan Mn. Uji awal sampel air sumur telah dilakukan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Jawa Timur. Hasil dari uji awal air sumur tersebut dapat dilihat di Tabel-1

Tabel -1: Hasil Uji Awal Air Sumur

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu (PeMenKes No.416/Men.Kes/Per/IX/1990)	Hasil Uji	Acuan Metode
1.	Besi	mg/l	1	5.48	APHA 3111 B Ed.23,2017
2.	Mangan	mg/l	0.5	2.16	APHA 3111 B Ed.23,2017

2. Hubungan Nilai Dissolved Oxygen (DO) dengan Tingkatan Multiple Tray Aerator dan Waktu Aerasi



Grafik -1: Kadar DO Tiap Tingkat Terhadap Waktu Aerasi

Berdasarkan Grafik-1 terjadi kenaikan kadar DO pada setiap tingkatan *tray*. Nilai rata-rata DO pada *multiple tray aerator* tingkat 1, 2, 3, 4, dan 5 secara berurutan adalah 7.72 mg/l, 7.74 mg/l, 7.83 mg/l, 7.93 mg/l dan 7.99 mg/l. Kadar DO rata-rata tertinggi berada pada tingkatan *tray* ke 5 dengan waktu aerasi 75 menit. Ketinggian *tray aerator* mengakibatkan terjadinya turbulensi air.

Secara tidak langsung turbulensi akan meningkatkan laju perpindahan udara atau oksigen dari fasa gas ke fasa cair. Turbulensi air menimbulkan percepatan antara permukaan air dan

udara untuk melakukan kontak sehingga akan menyebabkan nilai koefisien transfer oksigen (KLa) meningkat (Bennefield & Randall, 1980). Penelitian pendahuluan oleh Abuzar (2012), menyatakan bahwa nilai koefisien transfer oksigen (KLa) tertinggi terdapat pada *tray aerator* dengan tingkatan tertinggi.

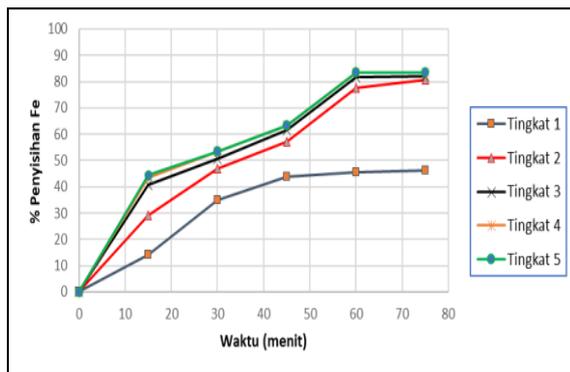
Nilai DO tertinggi pada tiap tingkatan *multiple tray aerator* berada pada waktu aerasi terlama yaitu 75 menit dan nilai DO terendah selama proses aerasi berada pada waktu aerasi 15 menit. Waktu aerasi berhubungan dengan waktu kontak interfase antara air dengan udara. Waktu kontak interfase sangat penting karena semakin lama waktu kontak maka semakin besar pula kesempatan kontak antara air dengan udara.

Elevasi tiap tingkatan mempengaruhi perbedaan waktu kontak air sumur dengan udara. Pada penelitian ini jarak antar tingkatan adalah 35cm dengan waktu kontak antar tingkatan adalah 0,267 detik dan mengalami aerasi selama 15-75 menit melalui resirkulasi di dalamnya. Sehingga jarak pada *multiple tray aerator* tingkat 1,2,3,4, dan 5 adalah 35cm, 70cm, 105cm, 140cm dan 175cm. Penambahan ketinggian *multiple tray aerator* tiap tingkatan membuat waktu

kontak air sumur dengan udara meningkat pula. Sehingga kesempatan air sumur untuk bereaksi dengan oksigen semakin besar. Prinsip ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh (Popel, 1974) tentang faktor yang mempengaruhi efisiensi transfer gas.

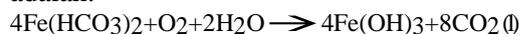
Namun pada tray ke 5 dengan waktu aerasi 60 dan 75 menit tidak terjadi kenaikan konsentrasi DO, yaitu tetap di angka 8.07 mg/L. Hal tersebut dapat terjadi karena telah terjadi peristiwa DO jenuh. Ketika fasa cair dimana dalam penelitian ini adalah air sumur telah jenuh dengan udara sehingga air tidak mampu lagi untuk menerima transfer oksigen dari fasa gas.

3. Hubungan Variasi Jumlah Tingkatan Tray dan Waktu Aerasi terhadap Penyisihan Fe dan Mn



Grafik -2: Persentase Penyisihan Fe Tiap Tingkat dan Waktu

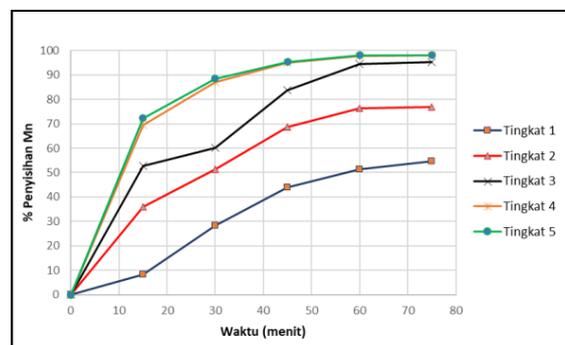
Penyisihan terbaik terjadi pada variasi tingkatan tray kelima dengan waktu 75 menit. Persentase penyisihan terbaik adalah sebesar 83.57% dengan kadar Fe setelah aerasi adalah 0.9 mg/l. Kadar Fe tersebut telah memenuhi baku mutu dengan mengacu pada PerMenKes No.416/Men.Kes/Per/IX/1990 yang mana kadar Fe maksimal adalah 1 mg/l. Reaksi kimia yang terjadi pada proses aerasi ini adalah:



Proses aerasi menggunakan *multiple tray aerator* piramida memungkinkan terjadinya proses oksidasi dari senyawa unsur Fe dalam bentuk ferro

(Fe^{2+}) menjadi bentuk ferri (Fe^{3+}). Senyawa ferro bervalensi dua (*divalent*) cenderung memiliki sifat mudah larut dalam air sehingga senyawa tersebut harus diubah kedalam bentuk ferri yang bervalensi 3 (Said, 2017). Hidroksida besi bervalensi 2 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ yang masih memiliki kelarutan tinggi di dalam air mengalami proses oksidasi melalui unit aerasi sehingga akan terjadi reaksi (ion) menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$. (Masduqi & Assomadi, 2012).

Apabila air yang mengandung besi dibiarkan terpapar oleh udara atau oksigen maka proses oksidasi akan terjadi meskipun lambat. Proses oksidasi tersebut akan menimbulkan endapan atau gumpalan koloid yang dapat mengganggu sistem *plumbing*. Hal tersebut juga dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme seperti crenothrix dan clonothrix yang menimbulkan penyumbatan pada sistem *plumbing* dan aroma tidak sedap. Aroma tersebut berupa bau logam pada air (Said, 2017). Proses oksidasi besi akan berlangsung dengan baik pada pH 7.5-9.8 dengan waktu aerasi 15 menit (Masduqi, 2012).

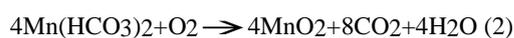


Grafik -3: Persentase Penyisihan Mn Tiap Tingkat dan Waktu

Penyisihan terbaik terjadi pada variasi tingkatan tray kelima dengan waktu 75 menit. Persentase penyisihan terbaik adalah sebesar 98.14% dengan kadar Mn setelah aerasi adalah 0.04 mg/l. Kadar Mn tersebut telah memenuhi baku mutu dengan mengacu pada PerMenKes No.416/Men.Kes/Per/IX/1990 yang mana kadar Mn maksimal adalah 0.5 mg/l. Terdapat mangan dengan bentuk senyawa

$MnCO_3$, $Mn(OH)_2$ yang memiliki valensi dua, zat tersebut relatif sulit larut dalam air. Sedangkan untuk senyawa Mn seperti garam $MnCl_2$, $MnSO_4$, $Mn(NO_3)_2$ mempunyai kelarutan yang besar di dalam air (Said, 2017).

Terdapatnya Mn pada air menyebabkan noda yang tertinggal pada benda berwarna putih, mengganggu estetika dengan menimbulkan warna air hitam/ungu serta menimbulkan aroma dan bersifat racun (Zairinayati & Afni Maftukhah, 2019). Berdasarkan penelitian (Setiadi, Sudarno, & Sumiyati, 2013) yang menggunakan *tray aerator* untuk pengolah air mengandung Mn menunjukkan bahwa *tray aerator* dengan jarak 45 cm dan 65 cm dapat menyisihkan Mn sebesar 100%. Sedangkan pada penelitian ini dengan jarak *multiple tray aerator* tertinggi yaitu 175 cm mampu menyisihkan Mn maksimal 98.14%. Hal ini dapat terjadi karena pada penelitian tersebut kadar Mn tidak sebesar pada penelitian ini. Sementara pada penelitian milik (Azkiyah & Sutrisno, 2014) yang mengolah air dengan kandungan Mn sebesar 7,65 mg/l menggunakan aerasi bertingkat. Penelitian tersebut mampu menyisihkan Mn sebanyak 52.20%. Reaksi yang terjadi saat proses aerasi adalah:



Ketinggian menara *multiple tray aerator* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses oksidasi terhadap Fe dan Mn (Popel, 1974). Jarak antar *tray* menyebabkan adanya waktu kontak interfase sehingga menyebabkan terjadinya kontak antara fase gas dengan fase cair. Kontak antara kedua fase tersebut dapat memicu berlangsungnya proses oksidasi. Waktu aerasi juga berpengaruh pada proses transfer gas. Semakin lamanya waktu aerasi, maka semakin besar pula kesempatan air mengalami kontak dengan udara. Sehingga proses difusi gas ke air berlangsung lebih lama pula. Hal tersebut membuktikan bahwa ada keterkaitan antara penyisihan konsentrasi Fe dan Mn dengan tingkatan

tray dan waktu aerasi.

4. Hubungan Tingkatan *Tray* dan Waktu Aerasi terhadap DO, Fe dan Mn

Proses aerasi bertujuan untuk memfokuskan transfer oksiges dari fasa gas ke fasa cair. Indikator transfer gas berhasil terjadi selama proses aerasi adalah ditandai dengan kenaikan konsentrasi DO (Bennefield & Randall, 1980). Hal tersebut terjadi pada proses aerasi di penelitian ini. Peningkatan konsentrasi DO berlangsung seiring dengan bertambah tingginya tingkatan *tray* dan waktu aerasi. Menurut (Popel, 1974), tinggi menara merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi transfer gas pada *multiple tray aerator*. Ketinggian menara berpengaruh pada waktu kontak pada interfaase. Jarak antar *tray* memberikan kesempatan oksigen untuk berkontak dengan air selama waktu tertentu. Semakin tinggi menara maka waktu kontak juga semakin lama. Hal tersebut dapat meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut yang selanjutnya digunakan untuk mengoksidasi Fe dan Mn terlarut. Kebutuhan oksigen terlarut harus terpenuhi untuk dapat mengoksidasi Fe dan Mn terlarut secara maksimal. Oleh karena itu ketinggian menara bertujuan untuk memberikan kesempatan udara berkontak dengan air sumur guna meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut yang dapat memaksimalkan pengoksidasian Fe dan Mn.

Ditinjau dari gambar Grafik-1, Grafik-2 dan Grafik-3, pada penelitian ini telah terjadi proses transfer oksigen dari fasa gas ke fase cair ditandai dengan bertambahnya konsentrasi DO dan teroksidasinya konsentrasi Fe dan Mn. Namun untuk menentukan tingkatan *tray* dan waktu aerasi yang terbaik harus ditinjau dari hasil keseluruhan parameter. Pada *tray* ke-5 dengan waktu aerasi 75 menit, nilai DO, prosentase penyisihan Fe dan Mn paling besar. Namun pada kondisi tersebut juga terjadi kejenuhan oksigen. Penurunan konsentrasi Fe dan Mn juga sudah tidak terjadi pada kombinasi variabel tersebut. Oleh karena itu peningkatan konsentrasi DO, presentase penyisihan Fe dan Mn terbaik terjadi pada

kombinasi variabel tingkatan *tray* ke-4 dan waktu aerasi 75 menit.

5. Volume dan Karakteristik Jatuhan

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan volume jatuhan pada tiap *tray* adalah sebesar 0.3 L. Kemudian dilakukan pengukuran volume jatuhan pada tiap *tray* secara *onsite* saat penelitian berlangsung. Pengukuran volume jatuhan air dengan cara memindahkan air jatuhan dari *tray* ke *beaker glass* 10 mL dan pipet ukur 1 mL. Ditemukan hasil yang berbeda dengan perhitungan. Volume jatuhan aktual sebesar 0.28 L. Kondisi tersebut dapat terjadi karena distribusi jatuhan air cenderung kurang merata. Ketika proses aerasi, air cenderung jatuh ke *tray* bagian tengah. Hal tersebut terlihat saat penulis mengamati *tray* tengah yang selalu penuh dengan air sedangkan *tray* dipinggir tidak selalu penuh dengan air namun tetap tergenang oleh air. Arah jatuhan air terbaik terjadi pada *tray* ke-1 menuju *tray* ke-1 dan *tray* ke-4 menuju *tray* ke-5. Air jatuh cenderung sesuai dengan urutan tempat jatuhan (dari *tray* ke-1 menuju *tray* ke-2 dan seterusnya). Sedangkan *tray* ke-2 menuju *tray* ke-3 ditemukan banyaknya air jatuh diluar urutan *tray*. Kehilangan volume total saat proses berakhir adalah 0.6 L ditandai dengan tinggi air yang hanya mencapai 5.8 cm yang seharusnya 6cm.



Gambar -2: Aliran Air pada *Tray*

Berdasarkan pengamatan saat proses aerasi berlangsung, aliran air termasuk ke aliran *nappe* yaitu aliran air dengan serangkaian jatuhan kecil yang

berurutan. Aliran jenis ini terjadi pada laju aliran air rendah. Dibandingkan dengan jenis aliran *skimming regime*, aliran *nappe* memiliki efisiensi lebih tinggi. Aliran *nappe* meningkatkan bilangan *Reynold* sehingga turbulensi meningkat. Oleh karena itu didapatkan efisiensi serasi yang cenderung lebih tinggi dari jenis aliran lainnya (Khdhiri et al., 2014).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut:

1. Pengaruh variabel tingkatan *tray* dan waktu aerasi berbanding lurus dengan penurunan kadar besi dan mangan. Semakin tinggi tingkatan *tray* dan lama waktu aerasi maka semakin signifikan pula penurunan kadar besi dan mangan. Bertambahnya tingkatan *tray* akan membuat jarak terjunan air meninggi sehingga waktu kontak antara air dan gas menjadi lebih lama. Akibatnya transfer oksigen dari fasa gas ke fasa cair dapat terjadi lebih maksimal.
2. Efisiensi penyisihan besi dan mangan terjadi pada variasi jumlah *tray* keempat dan waktu aerasi selama 75 menit. Efisiensi penyisihan besi sebesar 83.39% dan mangan sebesar 98.14%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuzar, S. S. (2012). Koefisien Transfer Gas (K_{la}) pada Proses Aerasi Menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5 (Lima). *Jurnal Dampak*, 9(2), 132.
- AWWA, ASCE, CSSE.1997. Water Treatment Plant Design 3rd Edition. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Azkiyah, I. N. F., & Sutrisno, J. (2014). Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur Gali Dengan Menggunakan Metode Aerasi Dan Filtrasi Di Sukodono Sidoarjo. *Jurnal Teknik WAKTU*, 12(2003), 28–33.
- Bennefield, L.D dan Randall, C. W.1980. Biological Process Design for Wastewater Treatment. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ 07632.
- Depkes (1990). Peraturan Menteri Kesehatan No.416/MENKES/PER/IX/1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Jakarta.

- Hastutiningrum, S., Purnawan, & Nurmaidawati, E. (2015). Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah dengan Metode Aerasi Conventional Cascade dan Aerasi Vertical Buffle Channel Cascade. *Proceeding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan,"* 1–7.
- Indarti Trisetyani, J. S. (2014). Penurunan Kadar Fe dan Mn pada Air Sumur Gali dengan Aerasi Gelembung Udara di Desa Siding Kecamatan Bancar Kabupaten Tuban. *Jurnal Teknik Waktu, 12*, 35–42. Retrieved from <http://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/article/view/822>
- Khdhiri, H., Potier, O., & Leclerc, J. P. (2014). Aeration Efficiency Over Stepped Cascades: Better Predictions From Flow Regimes. *Water Research, 55*, 194–202.
- Masduqi, A. dan Assomadi, A.F.2012. Operasi dan Proses Pengolahan Air. ITS Press,Surabaya.
- Popel, H.J.1974. Aeration and Gas Transfer. Delf University of Technology. Delf.
- Rahmawati, T., & Mangkoedihardjo, S. (2010). *Perencanaan Multiple Tray Aerator Untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Baku Di Pdam Kota Lumajang.* 1–10.
- Said, N. I. (2005). *Metoda Praktis Penghilangan Zat Besi dan Mangan di Dalam Air Minum.* 306–336.
- Said, Nusa Idaman. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi.* Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Setiadi, S. D., Sudarno, I., & Sumiyati, S. (2013). *Distance Difference Influence Tray And Concentration Variation To Rates Decreased Efficiency Iron (Fe) And Manganese (Mn) On Tray Aerator.* 3–8.
- Zairinayati, & Afni Maftukhah, N. (2019). Efektivitas Pengolahan Air Bersih Menggunakan Tray Aerator Dalam Menurunkan Konsentrasi Fe, Mn, Ph Pada Air Sumur Gali. *Jurnal Kesehatan Lingkungan,3*,19–20.