



Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah dengan Metode Aerasi *Conventional Cascade* dan Aerasi *Vertical Baffle Channel Cascade*

Sri Hastutiningrum*, Purnawan, dan Erri Nurmaitawati

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Sains Terapan
IST AKPRIND Yogyakarta

*E_mail: hastuti19@yahoo.com

Abstrak

Air yang memiliki kandungan Fe dan Mn tinggi bukan berarti tidak dapat dimanfaatkan karena air tersebut dapat diolah terlebih dahulu dengan memanfaatkan teknologi baik teknologi canggih maupun teknologi yang sederhana. Teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk pengolahan air dengan kadar Fe dan Mn tinggi adalah aerasi. Aerasi merupakan proses penambahan oksigen ke dalam air sehingga dapat menimbulkan reaksi oksidasi Fe dan Mn yang kemudian akan menyebabkan endapan $Fe(OH)_3$ dan MnO_2 . Karena Fe dan Mn telah teroksidasi maka kadarnya dalam air akan berkurang. Tujuan dilakukan penelitian untuk mengetahui perbandingan efektivitas keduanya dalam menurunkan kadar Fe dan Mn dalam air. Penelitian diawali dengan pembuatan unit aerator, yaitu aerator cascade konvensional dan aerator cascade baffle channel vertikal. Aerator dirancang untuk proses aerasi dengan variasi debit 21 mL/det samapai dengan 134 mL/det serta variasi lama aerasi 10 hingga 50 menit. Sampel air tanah yang diperlukan untuk setiap variasi debit adalah 20 liter. Setiap proses aerasi dilakukan selama 30 menit, sehingga air yang telah turun melewati step cascade akan dipompa menuju water torn kembali. Langkah tersebut dilakukan selama 30 menit. Setelah proses aerasi selesai, air yang berada di bak penampungan dimasukkan sebagian ke dalam gelas ukur untuk diamati lama pengendapannya. Selanjutnya, sebagian air hasil aerasi diendapkan dan kemudian diperiksa pH, suhu, kadar DO, Fe dan Mn-nya. Langkah tersebut dilakukan untuk semua variasi debit pada kedua unit aerator. Hasil pemeriksaan kadar Fe dan Mn akan menunjukkan debit optimum. Hasil pemeriksaan DO digunakan untuk menghitung konsentrasi oksigen yang bereaksi dengan Fe dan Mn. Kemudian debit optimum digunakan untuk aerasi dengan variasi lama aerasi 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit. Setelah proses aerasi selesai, air yang berada di bak penampungan dimasukkan sebagian ke dalam gelas ukur untuk diamati lama pengendapannya. Sebagian air hasil aerasi diendapkan dan kemudian diperiksa pH, suhu, kadar DO, Fe dan Mn-nya. Langkah tersebut dilakukan untuk semua variasi waktu pada kedua unit aerator. Hasil pemeriksaan kadar Fe dan Mn akan menunjukkan lama aerasi optimum. Hasil pemeriksaan DO digunakan untuk menghitung konsentrasi oksigen yang bereaksi dengan Fe dan Mn serta koefisien transfer oksigen (KLa). Hasil Pengujian Fe dan Mn pada Aerasi *Conventional Cascade* Variasi Debit diperoleh debit optimal pada 84 mL/det mengalami efektivitas penurunan sebesar Fe 95,1 % dan Mn 16,58 %. Hasil Pengujian Fe dan Mn pada Aerasi *Vertical Baffle Channel Cascade* Variasi Debit diperoleh debit optimal pada 56 mL/det mengalami efektivitas penurunan sebesar Fe 94,29 % dan Mn 23,18 %.

Kata kunci: aerasi, aerator cascade konvensional, aerator cascade baffle channel vertikal

Pendahuluan

Sebagian wilayah di DIY memiliki kualitas air tanah yang tidak layak untuk konsumsi sehingga masyarakat harus menggunakan air PDAM. Salah satu penyebabnya adalah tingginya kadar Fe dan Mn dalam air yang menyebabkan air berwarna kekuningan dan berbau.

Air dengan kadar Fe (besi) dan Mn (Mangan) yang tinggi banyak dijumpai pada air tanah. Menurut Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY, baku mutu Fe dalam air kelas 1 adalah 0,3 mg/L dan baku mutu Mn adalah 0,1 mg/L. Air dengan kandungan Fe dan Mn yang melampaui baku mutu dapat membawa dampak negatif bagi masyarakat yang memanfaatkannya seperti gangguan kesehatan, merusak pakaian dan perabotan rumah tangga yang terbuat dari logam.

Air yang memiliki kandungan Fe dan Mn tinggi bukan berarti tidak dapat dimanfaatkan karena air tersebut dapat diolah terlebih dahulu dengan memanfaatkan teknologi baik teknologi canggih maupun teknologi yang





sederhana. Teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk pengolahan air dengan kadar Fe dan Mn tinggi adalah aerasi.

Aerasi merupakan proses penambahan oksigen ke dalam air sehingga dapat menimbulkan reaksi oksidasi Fe dan Mn yang kemudian akan menyebabkan endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan MnO_2 . Metode aerasi memiliki beragam variasi. Salah satunya adalah aerasi cascade.

Persamaan prinsip kerja kedua bentuk aerator tersebut menunjukkan bahwa rancangan *vertical baffle channel cascade aerator* dapat menurunkan kadar Fe dan Mn dalam air. Namun karena adanya perbedaan bentuk dapat ditarik hipotesis bahwa efektivitas penurunan Fe dan Mn berbeda. Maka dari itu dilakukan penelitian untuk mengetahui perbandingan efektivitas keduanya dalam menurunkan kadar Fe dan Mn dalam air.

Kualitas air tanah juga dipengaruhi oleh tanah itu sendiri karena air yang melewati tanah dapat melarutkan mineral yang terdapat pada tanah tersebut. Sehingga kualitas air tanah pada berbagai wilayah memiliki perbedaan menurut karakteristik tanah setempat. Menurut Effendi (2003), air tanah biasanya memiliki kandungan besi yang relatif tinggi. Jika air tanah mengalami kontak dengan udara dan mengalami oksigenasi, ion ferri pada ferri hidroksida [$\text{Fe}(\text{OH})_3$] yang banyak terdapat dalam air tanah akan teroksidasi menjadi ferro dan segera mengalami presipitasi (pengendapan) serta membentuk warna kemerahan pada air.

Menurut Kodoatie (1996), dalam perjalanan air ke dalam tanah, air membawa unsur-unsur kimia dan karena sifatnya yang mudah teroksidasi maka menyebabkan terjadinya perubahan kimia dalam tanah ataupun bahan geologi.

Keberadaan besi pada kerak bumi menempati posisi keempat terbesar. Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro (Fe^{2+}) dan ferri (Fe^{3+}). Pada perairan alami dengan pH sekitar 7 dan kadar oksigen terlarut yang cukup, ion ferro yang bersifat mudah larut dioksidasi menjadi ion ferri (Effendi, 2003). Menurut Todd (dalam Effendi, 2003), besi terdapat dalam air sebagai ion sekunder (*secondary constituents*) dengan kadar antara 0,01 – 10,0 (mg/L). Menurut Darmono (dalam Susanti, 2013), besi dalam jumlah berlebih mengakibatkan tidak seimbang logam esensial dalam tubuh manusia yang dapat menyebabkan toksisitas akut, hemokromatis, dan batusiderosis.

Mangan adalah unsur dengan lambang Mn dan memiliki massa atom relatif 54,94; titik didih 2032°C dan titik lebur 1247°C . Di dalam sistem periodik unsur, mangan merupakan unsur dengan nomor atom 25 serta berada pada periode 4 dan masuk dalam golongan VII B yang berarti bahwa mangan termasuk logam transisi.

Menurut Achmad (dalam Hartanti, 2012), toksisitas mangan relatif sudah tampak pada konsentrasi rendah. Dengan demikian tingkat kandungan mangan yang diizinkan dalam air yang digunakan untuk keperluan domestik sangat rendah, yaitu dibawah 0,05 mg/l. Dalam kondisi aerob, mangan dalam perairan terdapat dalam bentuk MnO_2 dan pada dasar perairan tereduksi menjadi Mn^{2+} atau dalam air yang kekurangan oksigen. Oleh karena itu, pemakaian air yang berasal dari suatu sumber air, sering ditemukan mangan dalam konsentrasi tinggi.

Mangan dan besi yang terlarut dalam air dapat dihilangkan dengan cara aerasi, yaitu mengontakkan air dengan oksigen sehingga mangan dan besi mengalami oksidasi yang menyebabkan mangan dan besi dapat mengendap. Alat yang digunakan untuk aerasi disebut dengan aerator.

Aerator adalah alat untuk mengontakkan oksigen dari udara dengan air agar zat besi atau mangan yang ada di dalam air bereaksi dengan oksigen membentuk senyawa ferri (Fe valensi 3) serta mangan oksida yang relatif tidak larut di dalam air. Kecepatan oksidasi besi atau mangan dipengaruhi oleh pH air. Umumnya semakin tinggi pH air kecepatan reaksi oksidasinya makin cepat. Kadang-kadang perlu waktu tinggal sampai beberapa jam setelah proses aerasi agar reaksi berjalan tergantung dari karakteristik air bakunya (Said, 2005).

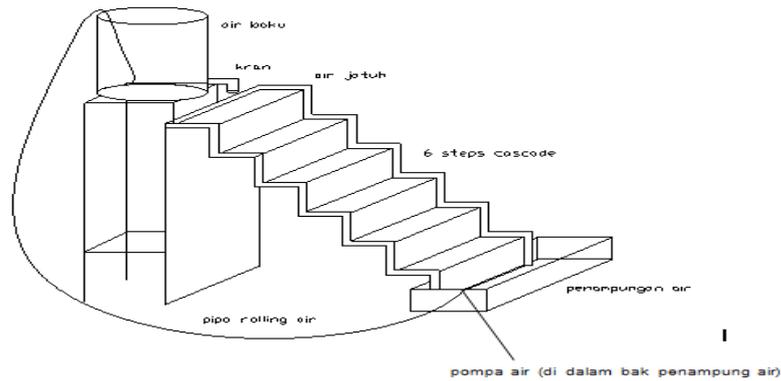
Aerator cascade merupakan salah satu alat untuk aerasi dengan sistem gravitasi. Prinsip kerja aerator cascade adalah melewati air ada plat atau lempengan yang disusun berundak seperti anak tangga. Air yang turun melewati cascade tersebut akan kontak dengan oksigen di udara.

Pada aerator cascade teknis pembuatannya cukup sederhana dengan biaya tidak terlalu mahal dan mudah dilaksanakan, yaitu air dilewatkan pada susunan penampang bertingkat secara gravitasi. Metode aerator cascade ini mampu menaikkan oksigen 60-80 % dari jumlah oksigen yang tertinggi pada air (Hartini, 2012). Pada dasarnya aerator cascade terdiri dari 4 sampai 6 step, dengan ketinggian tiap step kurang lebih 30 cm dengan kecepatan $0,01 \text{ m}^3/\text{detik per m}^2$ (Said, 2005). Keuntungan aerator cascade adalah alatnya yang sederhana dan mudah diaplikasikan serta mudah dalam perawatan. Namun salah satu kelemahannya adalah membutuhkan lahan yang cukup luas.

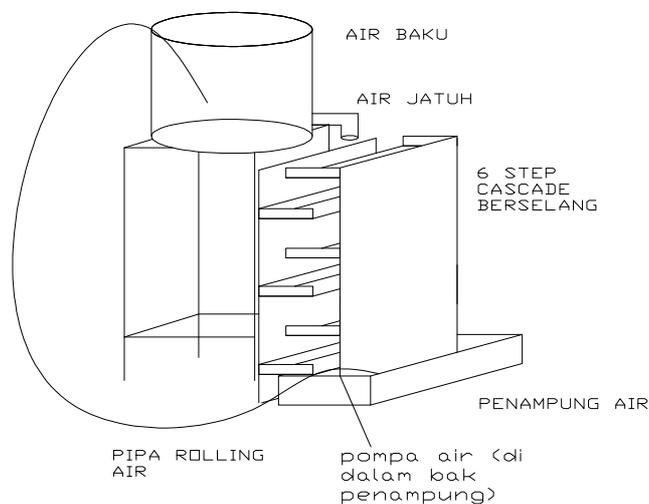
Metodologi Penelitian

Penelitian diawali dengan pembuatan unit aerator, yaitu aerator cascade konvensional dan aerator cascade *baffle channel vertikal*. Aerator dirancang untuk proses aerasi dengan variasi debit 500 mL/detik hingga 1500 mL/detik serta variasi lama aerasi 10 hingga 50 menit. Dimensi aerator yang dirancang memiliki panjang 50 cm dan tinggi maupun lebar tiap lempengan/plat undakan 20 cm dengan jumlah step keseluruhan pada masing-masing aerator adalah 6 step.





Gambar 1. *Conventional Cascade Aerator*



Gambar 2. *Vertical Baffle Channel Cascade Aerator*

Langkah selanjutnya adalah merangkai unit aerasi dengan perlengkapan lainnya seperti *water torn* dengan kran output, bak penampungan air, dan pompa. Setelah itu melakukan pengambilan sampel untuk penelitian. Sampel air tanah yang diperlukan untuk setiap variasi debit adalah 20 liter.

Sebelum dilakukan aerasi, air tanah diperiksa pH dan suhunya serta kadar DO, Fe dan Mn-nya terlebih dahulu yang kemudian dibandingkan dengan PerGub No. 20 Tahun 2008. Setelah itu air tanah diaerasi dengan variasi 21 mL/detik sampai dengan 134 mL/det. Setiap proses aerasi dilakukan selama 30 menit, sehingga air yang telah turun melewati step cascade akan dipompa menuju *water torn* kembali. Langkah tersebut dilakukan selama 30 menit. Setelah proses aerasi selesai, air yang berada di bak penampungan dimasukkan sebagian ke dalam gelas ukur untuk diamati lama pengendapannya.

Selanjutnya, sebagian air hasil aerasi diendapkan dan kemudian diperiksa pH, suhu, kadar DO, Fe dan Mn-nya. Langkah tersebut dilakukan untuk semua variasi debit pada kedua unit aerator. Hasil pengamatan waktu pengendapan selanjutnya digunakan untuk menghitung rancangan bak sedimentasi. Hasil pemeriksaan kadar Fe dan Mn akan menunjukkan debit optimum. Hasil pemeriksaan DO digunakan untuk menghitung konsentrasi oksigen yang bereaksi dengan Fe dan Mn.

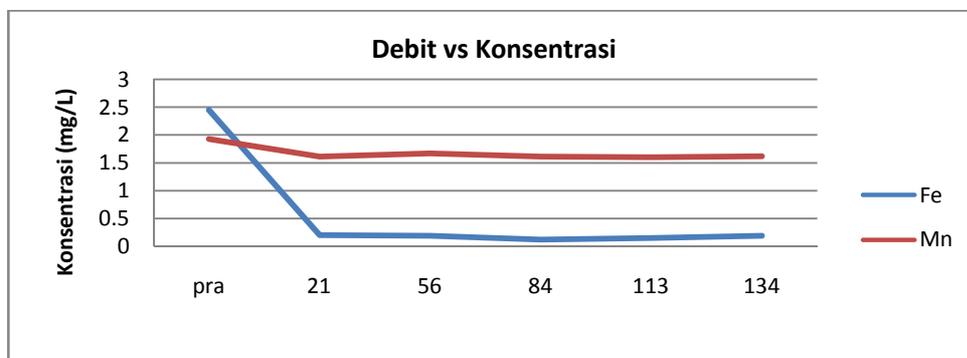
Selanjutnya debit optimum digunakan untuk aerasi dengan variasi lama aerasi 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, dan 50 menit. Setelah proses aerasi selesai, air yang berada di bak penampungan dimasukkan sebagian ke dalam gelas ukur untuk diamati lama pengendapannya.

Selanjutnya, sebagian air hasil aerasi diendapkan dan kemudian diperiksa pH, suhu, kadar DO, Fe dan Mn-nya. Langkah tersebut dilakukan untuk semua variasi waktu pada kedua unit aerator. Hasil pengamatan waktu pengendapan selanjutnya digunakan untuk menghitung rancangan bak sedimentasi. Hasil pemeriksaan kadar Fe dan Mn akan menunjukkan lama aerasi optimum. Hasil pemeriksaan DO digunakan untuk menghitung konsentrasi oksigen yang bereaksi dengan Fe dan Mn serta koefisien transfer oksigen (KLa)

Hasil Pengamatan

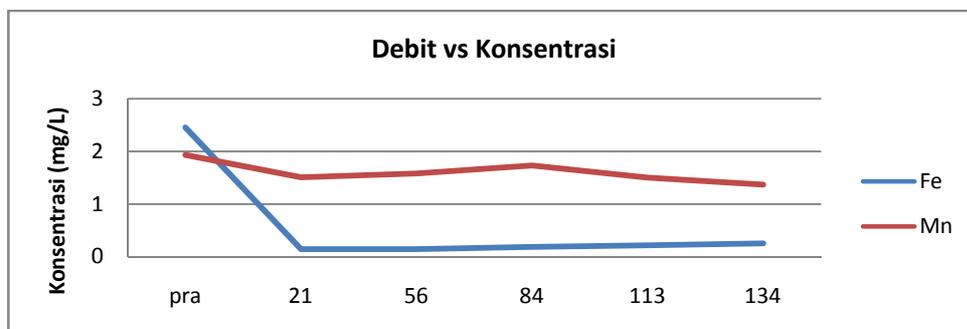
Hasil Pengujian Fe dan Mn pada Aerasi Conventional Cascade Variasi Debit

No	Debit (mL/s)	Sirkulasi (x)	Parameter		Efektivitas Penurunan (%)	
			Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe	Mn
1	pra	0	2.45	1.93	0	0
2	21	0.75	0.2	1.61	91.84	16.58
3	56	1.90	0.19	1.67	92.24	13.47
4	84	3.00	0.12	1.61	95.10	16.58
5	113	4.00	0.15	1.6	93.88	17.10
6	134	4.80	0.19	1.62	92.24	16.06



Hasil Pengujian Fe dan Mn pada Aerasi Vertical Baffle Channel Cascade Variasi Debit

No	Debit (mL/s)	Sirkulasi (x)	Parameter		Efektivitas Penurunan (%)	
			Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe	Mn
1	pra	0	2.45	1.93	0	0
2	21	0.75	0.14	1.51	94.29	21.76
3	56	1.90	0.14	1.58	94.29	23.18
4	84	3.00	0.18	1.73	92.65	12.66
5	113	4.00	0.21	1.5	91.43	24.86
6	134	4.80	0.25	1.37	89.80	37.33





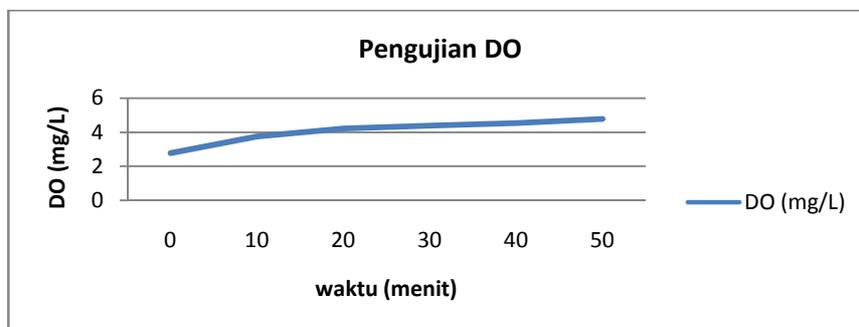
Hasil Pengujian Fe dan Mn pada Aerasi Conventional Cascade Variasi Waktu

No	Waktu (menit)	Sirkulasi (x)	Parameter		Efektivitas Penurunan (%)	
			Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe	Mn
1	pra	0	2.63	2	0	0
2	10	0.75	0.12	1.39	95.44	30.50
3	20	1.90	0.13	1.685	95.06	15.75
4	30	3.00	0.1	1.72	96.20	14.00
5	40	4.00	0.15	1.725	94.30	13.75
6	50	4.80	0.12	1.61	95.44	19.50

Hasil Pengujian DO pada Aerasi Conventional Cascade

No	Waktu (menit)	suhu (oC)	DO (mg/L)
1	0	28.2	3.17
2	10	28.3	3.84
3	20	28.4	4.41
4	30	28.5	4.48
5	40	28.6	4.53
6	50	28.7	4.75

No	Waktu (menit)	suhu (oC)	DO (mg/L)
1	0	28.2	2.78
2	10	28.3	3.74
3	20	28.3	4.21
4	30	28.4	4.38
5	40	28.5	4.52
6	50	28.6	4.77





Daftar Pustaka

- Abuzar, Suarni S dkk. 2012. *Koefisien Transfer Gas (KLa) pada Proses Aerasi Menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5 (Lima)*. Jurnal Teknik Lingkungan UNAND 9(2) : 155-163.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Hlm. 44-49. Yogyakarta: Kanisius.
- Fair, Gordon M. 1968. *Water and Wastewater Engineering, Volume 2*. USA: John Wiley&Sons, Inc.
- Hartini, Eko. 2012. *Cascade Aerator dan Buble Aerator dalam Menurunkan kadar Mangan Air Sumur Gali*. Jurnal Kesehatan Masyarakat (8)(1) Fakultas Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro, Semarang.
- Kodoatie, Robert J. 1996. *Pengantar Hidrogeologi*. Hlm. 218. Yogyakarta: Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Metcalf & Eddy. 1972. *Wastewater Engineering: Collection Treatment Disposal*. Hlm. 283. New York: McGraw-Hill.
- Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 Tahun 2008 Tentang Baku Mutu Air di Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Rahmawati, Tri dan Mangkoedihardjo, Sarwoko. *Perencanaan Multiple Tray Aerator untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Baku di PDAM Kota Lumajang*. Diakses 11 Januari 2015. (<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-14104-paperpdf.pdf>)
- Said, Nusa I. 2005. *Metoda Penghilangan Zat Besi dan Mangan di dalam Penyediaan Air Minum Domestik*. Jurnal Teknologi Volume 1 Nomor 3 BPPT.
- Susanti, Deny. 2013. *Efektivitas Aerasi secara Alami dalam Mengubah Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dalam Air Sumur*. Skripsi Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jember, Jawa Timur.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Rudy Agustriyanto (Universitas Surabaya)

Notulen : Wibiana W. N. (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Rudi Agustriyanto (Universitas Surabaya)
Pertanyaan : Mengapa kandungan Fe dari limbah bisa turun karena proses aerasi?
Jawaban : Karena terjadi reaksi dengan oksigen. Fe dan Mn diikat oleh O_2 membentuk Fe_2O_3 dan MnO_2 .

