

## Penggunaan Metode Cascade Aerator Untuk Penurunan Kadar Besi Dan Mangan Air Sumur Gali

Febriana Nur Aini,<sup>1\*</sup> Narto,<sup>1</sup> Sri Haryanti <sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Prodi Sarjana Terapan Sanitasi Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Yogyakarta, Indonesia  
corresponding author: [febriananur9@gmail.com](mailto:febriananur9@gmail.com)

---

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 7 June 2022

Revised: 10 August 2022

Accepted 20 September 2022

Published 27 September 2022

---

#### Kata Kunci:

*cascade aerator;*

*besi (Fe);*

*Mangan (Mn);*

*Air;*

#### Keywords:

*cascade aerator;*

*iron (Fe);*

*manganese (Mn);*

*Water;*

---

### ABSTRACT

*Water is one of the most important components for the survival of humans and other living things. There are several parameters that must be considered in water, one of which is chemical parameters in the form of levels of iron (Fe) and manganese (Mn). Excessive levels of iron (Fe) and manganese (Mn) will cause health and environmental problems so that treatment is needed to overcome these problems. The aim of the study was to determine the difference in levels of iron (Fe) and manganese (Mn) in dug well water before and after using the cascade method. Aerators. This research is a quasi-experimental research with PreTest Post Test Group Design. The object of this research is dug well water belonging to a resident in Sawit Hamlet, Panggungharjo, Sewon, Bantul. The cascade aerator used has dimensions of height for each step of 25 cm with a diameter of 30 cm and a width of 28 cm. The results of this study showed that there was a difference between the levels of iron (Fe) before and after the use of the cascade aerator method, the average decrease in iron (Fe) levels after filtering was 24.97% with a bound sig T-Test value of 0.005. There is a difference between the levels of manganese (Mn) before and after using the cascade aerator method, the average decrease in manganese (Mn) levels after filtering is 26.07% with a bound sig T-Test value of 0.010.*

---

### ABSTRAK

*Air merupakan salah satu komponen yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan di dalam air, salah satunya adalah parameter kimia berupa kadar besi (Fe) dan mangan (Mn). Kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang berlebihan akan menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan sehingga diperlukan penanganan untuk mengatasi masalah tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sumur gali sebelum dan sesudah penggunaan metode cascade aerator. Penelitian ini merupakan penelitian quasi eksperimen dengan desain Pre Test Post Test Group Design. Objek penelitian ini adalah air sumur gali milik salah satu warga di Dusun Sawit, Panggungharjo, Sewon, Bantul. Cascade aerator yang digunakan memiliki dimensi ukuran tinggi setiap undakan 25 cm dengan diameter 30 cm dan lebar 28 cm. Hasil Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan antara kadar besi (Fe) sebelum dan sesudah penggunaan metode cascade aerator, rata-rata penurunan kadar besi (Fe) setelah penyaringan adalah 24,97% dengan nilai sig T-Test terikat 0,005. Ada perbedaan antara kadar mangan (Mn) sebelum dan sesudah penggunaan metode cascade aerator, rata-rata penurunan kadar mangan (Mn) setelah penyaringan adalah 26,07% dengan nilai sig T-Test terikat 0,010.*

---

## PENDAHULUAN

Kehidupan makhluk hidup didunia ini tidak akan bisa lepas dari air termasuk kehidupan manusia. Peranan air dalam kehidupan manusia tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan tubuh manusia akan tetapi juga untuk menunjang kebutuhan lainnya.<sup>1</sup> Secara alamiah air yang ada dipermukaan bumi mengandung bahan kimia berupa mineral dan zat-zat lainnya seperti zat besi, kalsium, magnesium, mangan serta zat lainnya. Zat-zat kimia tersebut sangat dibutuhkan oleh tubuh manusia tetapi dengan jumlah yang sedikit, namun jika zat-zat tersebut terakumulasi di dalam tubuh dalam jumlah konsentrasi yang berlebihan akan menyebabkan gangguan kesehatan. Salah satu zat yang dibutuhkan tubuh yang larut dalam air adalah zat besi (Fe) dan mangan (Mn), zat tersebut diperlukan dalam proses metabolisme tubuh serta berperan dalam pembentukan sel darah merah (leukosit) guna mengikat oksigen dari paru-paru ke otak dan seluruh tubuh.<sup>2</sup>

Konsentrasi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang aman bagi kehidupan manusia sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 adalah 1 mg/l dan untuk mangan (Mn) 0,5 mg/l.<sup>3</sup> Kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang melebihi standar baku mutu akan menyebabkan berbagai macam masalah kesehatan, seperti iritasi mata dan kulit serta jika terakumulasi dengan jumlah yang besar di alveoli akan menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru dan fungsi hati.<sup>4</sup> Selain dampak kesehatan, kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) juga dapat menyebabkan dampak material dalam kehidupan sehari-hari, seperti jalur distribusi air akan mudah rusak dan keropos, mengotori bak, wastafel dan kloset, serta bersifat korosif pada pipa dan meninggalkan bercak kuning.<sup>4</sup> Selain itu, juga berdampak pada kesehatan lingkungan, yaitu menurunnya kualitas tanah dan dapat menimbulkan warna, bau, rasa yang tidak sedap.<sup>5</sup>

Tingginya kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air dapat diatasi dengan beberapa teknik pengolahan air, di antaranya adalah aerasi, oksidasi, pertukaran ion, koagulasi, elektrolit, serta filtrasi.<sup>6</sup> Aerasi merupakan salah satu teknik pengolahan air dengan cara mengkontakkan air dengan oksigen yang ada di udara. Pada dasarnya, terdapat banyak teknik dalam pengaplikasian aerasi, salah satunya menggunakan metode *cascade aerator*. *Cascade aerator* merupakan suatu teknik *grafity* aerasi yang berbentuk tangga yang prinsip kerjanya memanfaatkan gaya gravitasi bumi untuk mengalirkan air.<sup>(5)</sup>

Pada *cascade aerator*, air akan dijatuhkan ke serial undakan yang akan menyebabkan turbulensi air dengan luas bidang kontak undakan *cascade*. Setiap undakan akan terjadi kontak antara besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air dengan oksigen di udara sehingga terjadi reaksi oksidasi.<sup>8</sup> Proses aerasinya akan semakin bagus bila ukuran butir airnya semakin kecil dan semakin banyak undakan. Dengan demikian, reaksi oksidasi akan berjalan dengan lebih sempurna. Semakin luas undakannya, semakin tinggi efisiensinya.<sup>9</sup> Penggunaan *cascade aerator* dapat menjadi salah satu alternatif untuk menurunkan kadar Fe, selain luas undakan jumlah undakan juga memengaruhi efisiensi penurunan kadar Fe dalam air.<sup>8</sup>

Tingginya kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) ditemukan di sumur gali yang berlokasi di Dusun Sawit, Kalurahan Panggungharjo, Kapanewon. Sewon, Kab. Bantul, Prov. Daerah Istimewa Yogyakarta. Survei pendahuluan penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil sampel pada air sumur gali secara *grap sampling* di Dusun Sawit dengan jumlah satu sampel, kemudian dilakukan pemeriksaan parameter kimia di Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Yogyakarta. Hasilnya, didapatkan bahwa kandungan atau kadar besi (Fe) sumur gali tersebut sebesar 3 mg/L dan kandungan mangan (Mn) sebesar 1,4 mg/l. Kondisi air di sumur tersebut keruh, sedikit berbau besi, dan meninggalkan noda pada pakaian. Karena itu, air sumur tersebut hanya dapat digunakan untuk keperluan mandi dan menyiram tanaman, selebihnya kebutuhan air sehari-hari menggunakan air galon isi ulang.

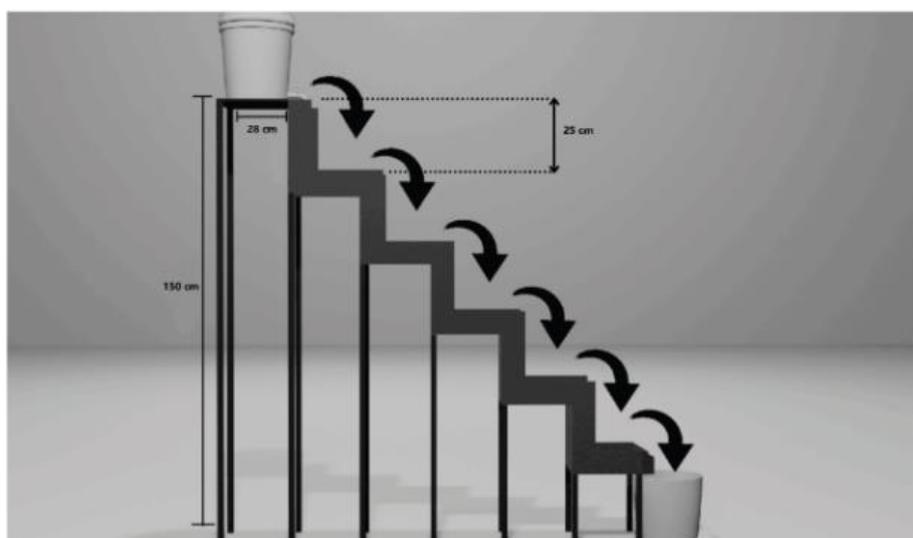
Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah diketahuinya perbedaan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sumur gali sebelum dan sesudah penggunaan metode *cascade aerator*.

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuasi eksperimen/*Quasi Experiment Method* dengan desain "*Pretest-Posttest Group Design*". Objek dan sampel yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari air sumur gali milik Ibu Y di Dusun Sawit, Kalurahan Penggunharjo, Kapanewon Sewon, Kab. Bantul. Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2021-Januari 2022 dan bertempat di Poltekkes Kemenkes Yogyakarta.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah *cascade aerator* yang memiliki 5 undakan dengan dimensi tinggi setiap undakan 25 cm, panjang 30 cm, dan lebar 28 cm. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sampel yang diukur sebelum dan sesudah perlakuan dengan *cascade aerator* dengan debit 500 mililiter per menit. Metode pengukuran kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan *Test Kit*. Kebersihan alat *cascade aerator* dapat memengaruhi hasil pengolahan hal tersebut dikarenakan kotoran yang ada pada undakan *cascade* dapat mencemari sampel yang sedang diuji atau diolah dan memengaruhi hasil dari pengolahan. Karena itu, kotoran pada *cascade* dapat menjadi variabel pengganggu dalam penelitian ini.

Air dari jerigen sebanyak 100 liter dimasukkan ke dalam bak penampungan atau *reservoir cascade aerator* yang telah dibuat untuk proses aerasi. Sebelum dilakukan aerasi dengan *cascade aerator* terlebih dahulu dilakukan pengukuran parameter pH dengan pH meter. Hal ini dilakukan karena semakin tinggi pH air maka reaksi oksidasi akan semakin cepat.<sup>10</sup> Setelah dilakukan pengukuran, didapatkan hasil pengukuran pH sebesar 7,3 sehingga tidak perlu dilakukan penambahan kapur untuk menaikkan kadar pH. Langkah selanjutnya adalah pengambilan sampel *pre* pertama dengan menggunakan gelas ukur lalu dituang ke dalam botol sampel (botol air mineral bekas) dan diberikan label. Kemudian stop kran dibuka sesuai debit aliran 500 ml per menit untuk proses aerasi dengan *cascade aerator* 5 undakan yang telah dirangkai. Dilakukan perhitungan waktu kontak air dari undakan pertama sampai air melewati undakan kelima, waktu kontak tersebut selama 18 menit. Setelah air melewati undakan kelima dilakukan pengambilan sampel *post* dengan menggunakan botol sampel (botol air mineral bekas) dan diberikan label. Aerasi dengan *cascade aerator* dilakukan pengulangan sebanyak lima kali dan pengambilan sampel *pre* dan *post* per lakuan dilakukan setiap 18 menit sekali.



Gambar 1.  
Desain Cascade Aerator Tampak Samping

Pengumpulan data pada penelitian ini merupakan data kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dari hasil pemeriksaan sampel air sebelum dan sesudah perlakuan dimasukkan ke dalam grafik. Peralatan yang digunakan untuk mengetahui kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air adalah *Iron Test Kit* dan *Mangan Test Kit*. Terdapat dua analisis dalam penelitian ini, yaitu:

pertama, analisis deskriptif untuk menghitung nilai penurunan kadar (Fe) dan mangan (Mn) efektif. Kedua, analisis inferensial dengan menggunakan aplikasi SPSS versi 25 berupa uji *Kolmogorov Smirnov* untuk menguji normalitas data dan uji T-test terikat untuk menguji perbedaan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sumur gali sebelum dan sesudah penggunaan metode *cascade aerator*.

## HASIL

### Hasil Uji Parameter Besi (Fe)

Hasil persentase penurunan parameter besi (Fe) air sumur tersaji pada grafik berikut.

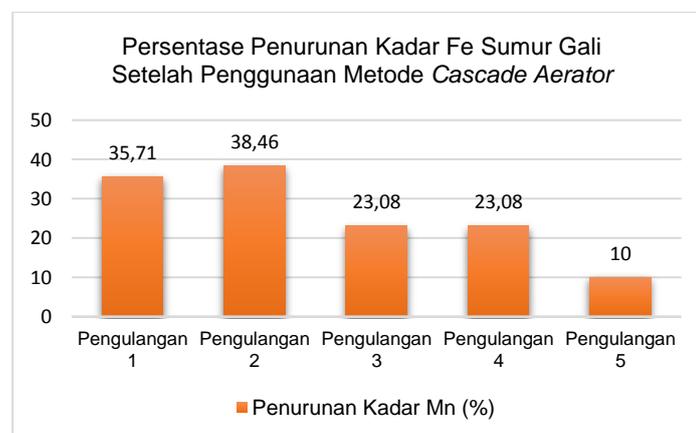


**Gambar Grafik 1.**  
Hasil Persentase Penurunan Parameter Besi (Fe).

Sebagaimana terlihat pada Grafik 1, terjadi penurunan kadar besi (Fe) pada air sumur sesudah dilakukan aerasi dengan *cascade aerator*, dengan persentase penurunan kadar besi (Fe) tertinggi terjadi pada pengulangan pertama, yaitu 33,85%, dan penurunan terendah pada pengulangan kelima, yaitu 14,48%. Rata-rata hasil pemeriksaan parameter besi (Fe) air sumur menggunakan *Iron Test Kit* sebelum dan sesudah perlakuan aerasi dengan *cascade aerator* 5 undakan terjadi penurunan sebesar 24,97%.

### Hasil Uji Parameter Mangan (Mn)

Hasil persentase penurunan parameter mangan (Mn) air sumur tersaji pada grafik berikut.



**Gambar Grafik 2.**  
Hasil Persentase Penurunan Parameter Mangan (Mn).

Sebagaimana terlihat pada Grafik 2, terjadi penurunan kadar mangan (Mn) pada air sumur sesudah dilakukan aerasi dengan *cascade aerator*, dengan persentase penurunan tertinggi pada pengulangan kedua sebesar 38,46% dan penurunan terendah terjadi pada pengulangan kelima, yaitu 10,00%. Rata-rata hasil pemeriksaan parameter mangan (Mn) sebelum dan sesudah perlakuan adalah sebesar 26,07%.

Penelitian ini menggunakan metode pengolahan air dengan cara aerasi dalam bentuk *cascade aerator*. *Cascade aerator* merupakan alat untuk aerasi dengan memanfaatkan sistem gravitasi. *Cascade aerator* memiliki prinsip kerja melewatkan air pada plat atau lempengan yang disusun berundak, air yang dilewatkan akan kontak dan bereaksi dengan oksigen di udara.<sup>7</sup> Rata-rata persentase hasil penurunan kadar besi (Fe) dari lima kali pengulangan dengan pemeriksaan menggunakan *Iron Test Kit* sebesar 24,97%. Hal tersebut didukung dengan hasil uji statistik dengan uji *T-Test Terikat (Paired Sample Test)* yang bermakna antara kadar besi (Fe) sebelum dan sesudah perlakuan dengan *cascade aerator* ( $sig\ 0,005 < 0,05$ ). Persentase penurunan kadar besi (Fe) tertinggi terjadi pada pengulangan pertama, yaitu 33,85%, sedangkan persentase penurunan kadar besi (Fe) terendah pada pengulangan kelima, yaitu 14,48%.

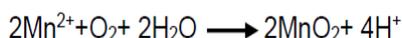
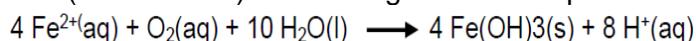
Rata-rata persentase hasil penurunan kadar mangan (Mn) dari lima kali pengulangan dengan pemeriksaan menggunakan *Mangan Test Kit* adalah sebesar 26,07%. Hasil tersebut didukung dengan hasil uji statistik menggunakan uji *T-Test Terikat (Paired Sample Test)* yang bermakna antara kadar mangan (Mn) sebelum dan sesudah perlakuan dengan *cascade aerator* ( $Sig\ 0,010 < 0,05$ ). Hasil analisis deskriptif dan inferensial menunjukkan bahwa *cascade aerator* 5 undakan serta dimensi tinggi setiap undakan 25 cm, panjang 30 cm, dan lebar 28 cm berperan dalam penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sumur. Hal ini dapat terjadi karena kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air bereaksi dengan oksigen ( $O_2$ ) di udara.

## PEMBAHASAN

*Cascade aerator* ini merupakan salah satu pengolahan air secara fisik dengan undakan-undakan yang memiliki lubang berbentuk persegi panjang pada bagian depan yang digunakan sebagai tempat untuk mengalirkan air ke undakan di bawahnya.<sup>10</sup> Hal tersebut menyebabkan terjadinya kontak antara air dengan udara ketika melalui setiap undakan. Dalam aliran aerasi *cascade aerator* akan mengakibatkan gejolak atau turbulensi yang kuat sehingga meningkatkan transfer udara ke dalam air.<sup>11</sup> Turbulensi yang kuat ini dapat meningkatkan koefisien transfer udara dibandingkan dengan reaksi air tanpa turbulensi, gelembung udara yang terbentuk akan meningkatkan luas permukaan air untuk kontak dengan udara.<sup>12</sup>

Pada *cascade aerator* terdapat beberapa hal yang dapat memengaruhi penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air, antara lain debit, jarak antar-*cascade*, banyaknya undakan pada *cascade*.<sup>(13)</sup> Debit yang semakin besar akan memperbesar turbulensi air terhadap bidang kontak *cascade* yang akan menyebabkan percikan air yang lebih banyak yang akan bereaksi dengan udara. Selain itu, perbedaan jarak antar-*cascade* dan banyaknya undakan *cascade* akan menimbulkan waktu kontak antara oksigen dengan air sehingga menghasilkan nilai transfer oksigen yang semakin besar.<sup>7</sup>

Jika *cascade aerator* membantu memberi asupan udara, maka akan terjadi reaksi antara Mn dan Fe dengan oksigen di udara yang nantinya akan membentuk partikulat-partikulat yang akan dipisahkan oleh unit filter. Proses mengontakkan oksigen dari udara dengan air, agar kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang ada di dalam air bereaksi dengan oksigen, akan membentuk senyawa *ferric* (Fe valensi 3) serta mangan oksida seperti reaksi berikut.<sup>14</sup>



Sesuai reaksi tersebut, 0,14 mg/l oksigen dapat mengoksidasi 1 mg/l zat besi (Fe) dan 0,29 mg/l oksigen dapat mengoksidasi 1 mg/l mangan. Dalam hal ini, jumlah oksigen yang bereaksi dipengaruhi oleh jumlah udara yang dikontakkan dengan air dan luas kontak antara

gelembung udara dengan permukaan air. Karena itu, semakin kecil dan semakin merata gelembung udara yang dihembuskan ke dalam air maka reaksi oksigen dengan air akan semakin besar.<sup>15</sup> Demikian juga, semakin kecil dan merata gelembung udara yang dikontakkan maka akan semakin besar potensi oksigen untuk bereaksi air. Dengan demikian, kadar Fe dapat diikat dengan oksigen dan mengalami penurunan.<sup>16</sup>

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, namun penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada *cascade aerator* terlihat lebih sedikit apabila dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya penggunaan *cascade aerator* dengan 10 undakan dapat menurunkan kadar Fe dan Mn sebesar 39,4% dan 40%.<sup>17</sup> Hal tersebut terjadi karena penelitian sebelumnya terdapat penambahan perlakuan, yaitu di setiap undakan *cascade* diberikan mangan dan zeolite, sedangkan penelitian ini tidak menggunakan penambahan perlakuan. Penambahan mangan dan zeolite tersebut menyebabkan penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) yang cukup besar karena mangan serta zeolite mempunyai 3 fungsi sekaligus dalam penurunan besi (Fe) dan mangan (Mn), yaitu adsorpsi, oksidasi, dan penukar ion. Pada penelitian lainnya, *cascade aerator* dengan 4 undakan dengan waktu kontak 12 menit dapat menurunkan kadar besi (Fe) sebesar 21,27 % dan waktu kontak 20 menit dapat menurunkan kadar besi (Fe) sebesar 31,58%.<sup>18</sup> Waktu kontak antara air dengan udara ini akan mengakibatkan semakin besar reaksi kontak antara air dengan oksigen di udara.<sup>19</sup>

Pada penelitian *cascade aerator* mengenai efektivitas metode *cascade aerasi* dan kombinasi filtrasi dalam menurunkan kadar besi (Fe) pada air sumur gali, dilakukan penambahan perlakuan berupa filtrasi dengan media pasir, krikil, dan arang aktif dengan variasi debit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan kadar besi (Fe) dengan variasi debit 0,2 l/menit turun sebesar 0,54 mg/l (80,07 %), pada variasi debit 0,4 l/menit turun sebesar 0,69 mg/l (74,29 %), dan pada variasi debit 0,6 l/menit turun sebesar 0,71 mg/l (73,68 %).<sup>20</sup> Kombinasi pengolahan air dengan memadukan antara *cascade aerator* dengan filtrasi akan memberikan hasil yang cukup optimal guna mereduksi kandungan besi dan mangan air sumur gali.<sup>22</sup>

*Cascade aerator* merupakan aerasi alami yang memanfaatkan kontak antara partikel air dengan udara karena pergerakan air secara alami sehingga tidak sulit untuk mengaplikasikannya. *Cascade aerator* ini memerlukan tempat atau ruangan yang lebih luas, namun perawatannya lebih mudah, yaitu cukup dengan melakukan pembersihan pada undakan-undakan *cascade*-nya.<sup>21</sup> Hasil akhir dari penelitian penggunaan metode *cascade aerator* ini menunjukkan hasil yang belum memenuhi persyaratan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 untuk parameter besi (Fe) dan mangan (Mn). Agar hasil penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) maksimal, dibutuhkan perlakuan tambahan, seperti filtrasi dan *ion-exchange* dengan media penukar ion (ferolit, zeolite dan resin) serta sedimentasi untuk menghilangkan flok partikel besi (Fe) dan mangan (Mn) yang masih terdapat pada air.

## KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan yang bermakna antara kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sumur gali sebelum dan sesudah penggunaan metode *cascade aerator* dengan nilai sig 0,005 dan 0,010.

## SARAN

Pengolahan air dengan metode *cascade aerator* ini perlu diterapkan di masyarakat yang memiliki sumber air dengan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) tinggi. Namun demikian, diperlukan perlakuan tambahan, seperti sedimentasi dan filtrasi untuk menghilangkan flok partikel besi (Fe) dan mangan (Mn) yang masih terdapat pada air agar hasil yang didapatkan lebih maksimal. Sementara itu, untuk peneliti lain, perlu melakukan penelitian mengenai aerasi dengan *cascade aerator* terhadap parameter lain, seperti BOD dan COD, dalam air limbah dan perlu dilakukan penelitian serupa dengan variasi ketinggian undakan *cascade* yang lebih besar dan jumlah undakan.

## REFERENSI

1. Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 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. Peratur Menteri Kesehat Republik Indones. 2017;1–20.
2. Aini SN, Triyantoro B, Abdullah S. 2020. Pengaruh Variasi Berat Arang Sekam Padi Sebagai Media Adsorben dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Pada Air di Banyumas. *Bul Keslingmas*. 39(1):31–9. <https://ejournal.poltekkes-smg.ac.id/ojs/index.php/keslingmas/article/view/4619>
3. Erlani. 2011. Variasi Luas Wilayah Cascade Terhadap Penurunan Kadar Besi. *J Kesling*. <http://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/teknologi/article/download/88-92/pdf>
4. Budiyo dan Sumardjono. 2013. *Teknik Pengolahan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
5. Rivai A, Hermanto A. 2019. Efektivitas Metode Cascade Aerasi Dan Kombinasi Filtrasi Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali. *Sulolipu Media Komun Sivitas Akad dan Masy*. 17(1): 89. <https://journal.poltekkes-mks.ac.id/ojs2/index.php/Sulolipu/article/view/724>
6. Joko. 2014. INF dan Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Sumur Gali dengan Menggunakan Metode Aerasi dan Filtrasi di Sukodono. *Jurnal Tek*. 12(ISSN : 1412-1867). <https://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/article/view/892>
7. James O Hanotu, Hemaka Bandulasema WBZ. 2017. Aerator design for microbubble generation. *Chem Eng Res Des*. 123:367 376. [https://repository.lboro.ac.uk/articles/journal\\_contribution/Aerator\\_design\\_for\\_microbubble\\_generation/9241946](https://repository.lboro.ac.uk/articles/journal_contribution/Aerator_design_for_microbubble_generation/9241946)
8. 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 Semin Nas Tek Kim “Kejuangan.” 1–7.
9. Asfiana A. 2015. Penurunan Kadar Kontaminan Mangan (Mn) dalam Air Secara Bubble Aerator dan Cascade Aerator. *Jurnal Teknik Sipil*. <https://adoc.pub/penurunan-kadar-kontaminan-mangan.html>
10. Yuniarti DP, Komala R, Aziz S. 2019. Pengaruh Proses Aerasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit di PTPN VII Secara Aerobik. *Teknik Lingkungan*. 4(2):7–16. <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/redoks/article/view/3504>
11. Chanson H. 2002. *The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways*. 1th. The Netherlands: New Jersey. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:109112>
12. Tufeng C. 2013. Distinct Expression Patterns of ICK/MAK/MOK Protein Kinases in the Intestine Implicate Functional Diversity. *PLoS One*. 8(11). <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0079359>
13. Syazwan MF, Mohd Remy Rozainy MAZ, Jamil R. 2020. Removing Iron and Manganese by Using Cascade Aerator and Limestone Horizontal Roughing Filters. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 864(1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/864/1/012006>
14. Mardiah R. 2019. Aplikasi Cascade Aerator untuk Penghilangan Fe dan Mn dalam Air Sumur Gali: Pengaruh Variasi Debit, Tinggi, dan Jumlah Bidang Kontak Cascade. 1–119. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/24008>
15. Baylar, A., Emiroglu, M.E., Bagatur T. 2016. An experimental investigation of aeration performance in stepped spillways. *Water Environ J*. 20(1):35–42.
16. Bakti H. 2011. Mata Air Sebagai Sumber Air Bersih di Kecamatan Lasiolat, Kabupaten Belu, NTT. *J Ris Geol dan Pertamb*. 21(1):49.
17. Batara K, Zaman B, Oktiawan W. 2017. Pengaruh Debit Udara Dan Waktu Aerasi Terhadap. *J Tek Lingkung*. 6(1):1–10.
18. Sari W, Karnaningroem N. 2011. Studi Penurunan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dengan Menggunakan Cascade Aerator dan Rapid Sand Filter pada Air Sumur Gali Study Of Removal Iron (Fe). *AcademiaEdu*. Diakses dari

- <https://www.academia.edu/download/16684661/its-undergraduate-14052-3306100037-paperpdf.pdf>
19. Diansari U, Purnaini R, Asbanu C. 2022. Perbandingan Efisiensi Cascade Aerator dan Bubble Aerator dalam Menurunkan Kadar Besi Air Sumur Bor. *J Teknol Lingkungan Lahan Basah*. 10(1):11–21.
  20. Putra DZ, HS E, Elystia S. 2018. Penyisihan Logam Mangan (Mn) dalam Air Tanah Pada Proses Aerasi Menggunakan Kombinasi Cascade Aerator. *Jom FTEKNIK*. 5:1–6. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/18711/0>
  21. Azrin Mohd Sanusi, Mohd Nordin Adlan, M.A.Z. Mohd Remy Rozainy Rhahimi Jamil. 2016. Removal of Iron and Manganese Using Cascade Aerator and Limestone Roughing Filter. *Mater Sci Forum*. 857:509–13. [https://www.researchgate.net/publication/303392220\\_Removal\\_of\\_Iron\\_and\\_Manganese\\_Using\\_Cascade\\_Aerator\\_and\\_Limestone\\_Roughing\\_Filter](https://www.researchgate.net/publication/303392220_Removal_of_Iron_and_Manganese_Using_Cascade_Aerator_and_Limestone_Roughing_Filter)