

Pengaruh Penambahan Media Karbon Aktif dan Zeolit Terhadap Peningkatan Kinerja Tray Aerator Pada Air Sumur

Septi Ika Nurfadila, Euis Nurul Hidayah

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Surabaya

*Koresponden email: 20034010024@student.upnjatim.ac.id, euisnh.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 19 November 2024

Disetujui: 29 November 2024

Abstract

In the well water of Sengon Village, the levels of Fe (iron) and Mn (manganese) exceed the established quality standards of 0.743 mg/L and 1.60 mg/L respectively. One of the treatment solutions to reduce these contaminant levels is the aeration method of the aeration tray with the addition of media. The aeration method works by bringing water into contact with oxygen. The aim of this study is to determine the optimum performance of tray aerators by comparing the addition of activated carbon, zeolite or mixed media. Each media has an influence on the measurement results of pollutant levels in units of percent removal. The parameter with the highest weight is the one that most influences the effectiveness in removing Fe and Mn. The values of the parameter variations were then analysed and Anova Two Way statistical test was performed. The results showed that the most optimal reduction of Fe levels was achieved by aeration with activated carbon media with an aeration time of 150 minutes with a percentage removal of 96.67% and a level of 0.0234 mg/L. To reduce Mn levels, the most optimal aeration with addition of zeolite media with an aeration time of 150 minutes with a percent removal of 99.08% and levels <0.0145 mg/L. And to increase DO levels, the most optimal is aeration with the addition of activated carbon media with an aeration time of 150 minutes and a final DO value of 6 mg/L.

Keywords: *aeration, activated carbon, tray aerator, well water, zeolite*

Abstrak

Pada air sumur Desa Sengon kandungan Fe (besi) dan Mn (mangan) melebihi baku mutu yang ditetapkan yaitu 0,743 mg/L dan 1,60 mg/L. Metode aerasi tray aerator dengan penambahan media merupakan salah satu solusi pengolahan penurunan kadar polutan tersebut. Metode aerasi berfungsi menghasilkan kontak air dengan oksigen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja paling optimal yang dihasilkan tray aerator dengan perbandingan penambahan media karbon aktif, zeolit, atau campuran. Masing-masing media mempunyai pengaruh terhadap hasil pengukuran kadar pencemar dalam satuan persen removal. Parameter dengan bobot tertinggi ialah parameter yang paling mempengaruhi efektifitas dalam penyisihan Fe dan Mn. Nilai dari variasi parameter kemudian dianalisis dan dilakukan uji statistik Anova *Two Way*. Hasil penelitian menunjukkan penurunan kadar Fe paling optimal adalah dengan aerasi penambahan media karbon aktif dengan waktu aerasi selama 150 menit dengan persen removal sebesar 96,67% dan kadarnya 0,0234 mg/L. Untuk menurunkan kadar Mn paling optimal adalah aerasi dengan penambahan media zeolit dengan waktu aerasi selama 150 menit dengan persen removal sebesar 99,08% dan kadarnya <0,0145 mg/L. Dan untuk meningkatkan kadar DO paling optimal adalah aerasi dengan penambahan media karbon aktif dengan waktu aerasi selama 150 menit dengan nilai akhir DO sebesar 12,7 mg/L.

Kata Kunci: *aerasi, karbon aktif, tray aerator, air sumur, zeolit*

1. Pendahuluan

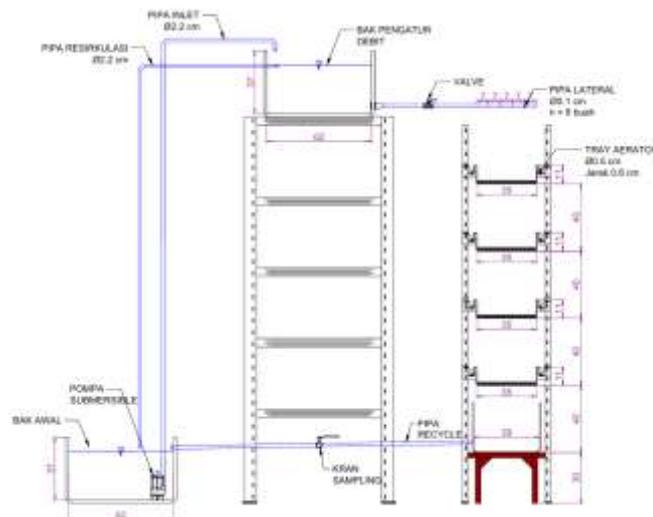
Adanya permasalahan pelayanan air bersih yang rendah, sebagian besar masyarakat menggunakan alternatif lain untuk mendapatkan air bersih dengan cara membuat sumur. Dalam banyak kasus, air sumur rentan didapati adanya kandungan logam berat besi (Fe) dan Mangan (Mn) yang berlebih [1]. Dalam penelitian ini diketahui kandungan Fe dan Mn pada air sumur Desa Sengon adalah 0,743 mg/L dan 1,60 mg/L yang menunjukkan melebihi baku mutu yang ditetapkan. Salah satu pengolahan yang mampu menurunkan kadar pencemar tersebut adalah dengan proses aerasi unit tray aerator. Tray aerator adalah proses kontak air dengan oksigen agar terjadi reaksi oksidasi dengan susunan nampan berlubang secara vertikal sehingga tidak membutuhkan lahan yang luas dan memiliki efisiensi removal yang tinggi [2]. Untuk menambah efisiensi penurunan kadar Fe dan Mn dapat dilakukan dengan penambahan media kontak. Media kontak yang dapat digunakan salah satunya adalah karbon aktif dan zeolit.

Karbon aktif merupakan padatan berpori yang mengandung 85-95% unsur karbon. Karbon aktif banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, minuman, farmasi, dan pengolahan air [3]. Karakteristik utama karbon aktif meliputi sifat adsorpsi dan sifat fisik seperti ukuran efektif, kepadatan partikel, luas permukaan total, dan koefisien keseragaman. Untuk memperoleh karbon yang berpori dan luas permukaannya besar, maka karbon perlu diaktivasi terlebih dahulu. Daya adsorpsi pada karbon aktif dipengaruhi oleh waktu kontak, pH, suhu, dan sifat serapan [4]. Sedangkan zeolit adalah silikat hidrat yang mengandung sejumlah besar ion natrium, berbentuk butiran serta tidak larut dalam air. Pada proses adsorpsi dengan media, zeolit akan menghasilkan reaksi pertukaran ion sehingga berpengaruh terhadap besar kadar penyisihan parameter pencemar. Namun, zeolit akan meningkatkan nilai pH apabila massa yang digunakan bertambah [5].

Selama proses aerasi dengan media kontak karbon aktif dan zeolit, molekul pencemar yang terkandung dalam air menempel pada permukaan bahan adsorben untuk penghilangan polutan dan produk limbah di dalam air. Dalam proses adsorpsi, massa dan media kontak berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi besi (Fe) dan mangan (Mn). Waktu kontak yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah adsorben yang digunakan [6]. Massa untuk media kontak pada setiap tray rata-rata berkisar 500 gram. Ukuran efektif pada partikel karbon aktif dan zeolit adalah 100 mesh dengan rata-rata efektivitas penyisihan kadar pencemar besi (Fe) sebesar 93,86% dan 55,37% [7]. Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini dilakukan metode aerasi variasi tray aerator dengan perbandingan tanpa media dan penambahan media kontak berupa karbon aktif dan zeolit untuk mengetahui kinerja tray aerator sesuai desain yang direncanakan dalam menurunkan kandungan logam berat besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air sumur.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental untuk mendegradasi parameter pencemar besi dan mangan yang terkandung dalam air sumur. Pengambilan sampel dilakukan di Desa Sengon Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Pengolahan air dilakukan dengan menggunakan proses aerasi tray aerator dengan penambahan media. Dilakukan variasi media berupa karbon aktif, zeolit, dan campuran. Untuk jarak antar tray dibuat sama 40 cm.



Gambar 1. Unit Pengolahan Aerasi Tray Aerator

Proses penelitian dilakukan secara resirkulasi dari bak penampung awal dipompa menuju bak pengatur debit dengan pompa submersible. Kemudian air dialirkan menuju tingkatan tray melewati pipa lateral yang telah dilubangi. Air yang tertampung di bak akhir akan kembali menuju ke bak penampung awal dan proses aerasi terus berlanjut hingga 150 menit. Pengambilan sampling dilakukan saat 0, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Selain penurunan kadar Fe dan Mn, oksigen terlarut dan pH juga diamati selama proses aerasi berlangsung. Data yang dihasilkan kemudian dianalisa untuk mendapatkan variasi media paling efektif terhadap penurunan Fe dan Mn pada air sumur.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Data Oksigen Terlarut

Pada penelitian ini proses yang mendominasi dalam penurunan kadar Fe dan Mn adalah proses aerasi. Aerasi sendiri sangat berpengaruh terhadap peningkatan kadar oksigen terlarut yang terkandung

dalam air. Dengan variasi media karbon aktif, zeolit serta campuran didapatkan hasil yang berbeda-beda dengan waktu aerasi selama 150 menit. Oksigen terlarut ini diukur dengan menggunakan DO meter. Pada **Tabel 1** disajikan data dari oksigen terlarut setelah dilakukan pengukuran.

Tabel 1. Hasil Analisa Kadar Oksigen Terlarut

Waktu sampling (menit)	Variasi jenis media		
	Karbon aktif	zeolit	campuran
0	3,4	3,5	3,3
30	4	3,9	4,7
60	4,3	4,2	5
90	4,6	4,5	5,4
120	5,1	4,8	5,6
150	6	4,9	5,7

Sumber: Data penelitian, 2024

Berdasarkan data dapat diketahui bahwa kadar oksigen terlarut mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu kontak. Semakin lama waktu aerasi maka kadar oksigen terlarut juga semakin meningkat. Pada aerasi dengan penambahan media zeolit didapatkan DO sebesar 4,9 mg/L dan media campuran sebesar 5,7 mg/L. Dengan kadar DO paling tinggi didapatkan dari aerasi dengan penambahan media karbon aktif yang mencapai 6 mg/L.

Karbon aktif diketahui memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi karena luas permukaannya yang besar dan struktur pori yang efektif, sehingga memungkinkannya menghilangkan kontaminan yang dapat menghambat transfer oksigen ke air secara lebih efisien [8]. Di sisi lain, zeolit memiliki kapasitas pertukaran ion yang sangat baik dan efektif dalam mereduksi ion logam seperti besi dan mangan, yang secara tidak langsung juga berkontribusi terhadap peningkatan kadar oksigen melalui reduksi senyawa antioksidan [9]. Namun, penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif optimal dalam meningkatkan kadar oksigen karena sangat baik dalam mengurangi senyawa organik [10].

Air memiliki lebih banyak peluang untuk berinteraksi dengan udara kaya oksigen setelah 150 menit, yang meningkatkan difusi oksigen ke dalam air. Proses ini menyebabkan kadar DO mencapai tingkat yang lebih tinggi karena oksigen terlarut semakin tersebar ke seluruh air [11]. Peningkatan waktu aerasi juga memberikan peluang bagi parameter lain seperti pH dan suhu untuk mencapai kesetimbangan, yang dapat mendorong proses oksidasi dan adsorpsi [12].

3.2 Analisis Data Penurunan Kadar Fe

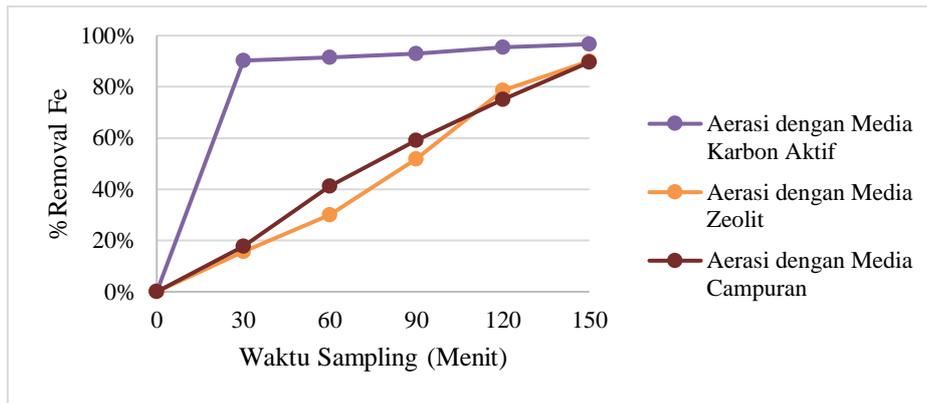
Hasil dari penelitian penurunan kadar Fe disajikan dalam **Tabel 2** berikut.

Tabel 2. Hasil Analisa Kadar Besi

Waktu sampling (menit)	Variasi jenis media		
	Karbon aktif	zeolit	campuran
0	0,703	0,769	0,698
30	0,0679	0,648	0,574
60	0,0591	0,539	0,41
90	0,0495	0,37	0,285
120	0,0327	0,164	0,174
150	0,0234	0,0767	0,0724

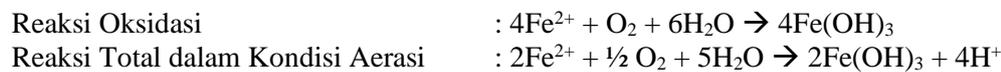
Sumber: Data penelitian, 2024

Berdasarkan **Tabel 2** menunjukkan bahwa aerasi dengan penambahan media karbon aktif mampu menurunkan kadar besi hingga efisiensinya sebesar 96,67%. Karbon aktif terbukti sangat efektif menghilangkan logam berat, termasuk besi (Fe), karena kemampuan adsorpsinya yang tinggi. Proses ini terjadi karena karbon aktif memiliki banyak pori-pori pada strukturnya yang memungkinkan partikel logam menempel pada permukaannya [13]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif dengan pori-pori lebih kecil dapat meningkatkan kapasitas penyerapan logam seperti besi secara signifikan [7].



Gambar 2. Pengaruh Media Terhadap % Removal Fe dengan Jarak Antar Tray 40 cm
Sumber: Data penelitian, 2024

Pada oksidasi besi (Fe), besi dalam air biasanya ada dalam bentuk ion *ferrous* (Fe^{2+}). Selama aerasi, ion *ferrous* dioksidasi menjadi *ferric* (Fe^{3+}), yang kemudian membentuk padatan *ferric hidroksida* ($Fe(OH)_3$) [9]. Reaksi kimianya adalah sebagai berikut.



Sedangkan zeolit memiliki pori-pori serta struktur kristal yang lebih kecil dibandingkan karbon aktif [13]. Hal ini membatasi gerak zeolit dalam penyerapan ion besi. Selain itu, ukuran ion Fe^{2+} atau Fe^{3+} yang relatif besar kurang optimal dalam penyerapannya, karena mekanisme utama zeolit adalah pertukaran ion, yang lebih efektif untuk ion berukuran kecil atau ion dengan muatan tertentu [13]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penurunan kadar Fe terbaik didapatkan dari proses aerasi dengan penambahan media karbon aktif.

Pada waktu kontak 150 menit, media seperti karbon aktif atau zeolit memiliki peluang lebih besar untuk mengadsorpsi kontaminan Fe maupun Mn. Waktu aerasi yang lebih lama mendorong pembentukan flok yang lebih besar dan stabil [14]. Ketika logam seperti Fe dan Mn teroksidasi, mereka membentuk partikel yang lebih besar dan dapat dengan mudah dihilangkan dalam proses adsorpsi. Waktu 150 menit memberikan lebih banyak waktu bagi partikel ini untuk terbentuk dan mengendap, membuat penghilangan Fe dan Mn menjadi lebih efisien.

3.3 Analisis Data Penurunan Kadar Mn

Hasil dari penelitian penurunan kadar Mn disajikan dalam Tabel 3 berikut.

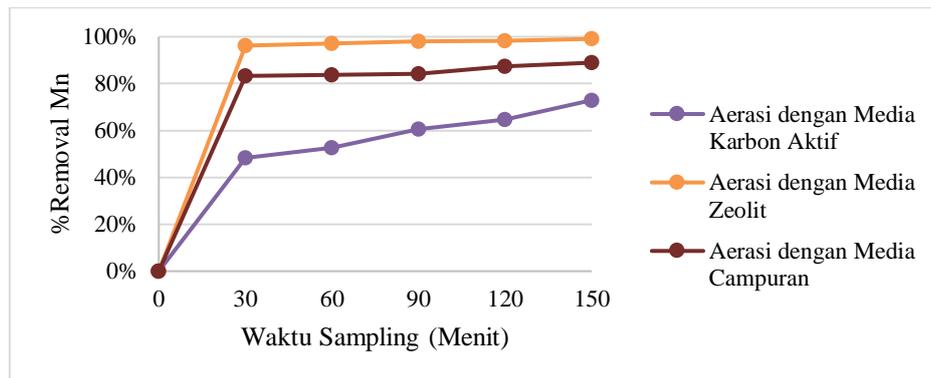
Tabel 3. Hasil Analisa Kadar Mangan

Waktu sampling (menit)	Variasi jenis media		
	Karbon aktif	zeolit	campuran
0	1,57	1,58	1,59
30	0,81	0,0614	0,266
60	0,745	0,0471	0,259
90	0,619	0,0317	0,253
120	0,555	0,0265	0,2
150	0,425	<0,0145	0,176

Sumber: Data penelitian, 2024

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa aerasi dengan penambahan media zeolit mampu menurunkan kadar mangan hingga efisiensinya sebesar 99,08%. Media zeolit lebih efektif untuk penyisihan kadar Mn (mangan) karena dapat menukar ion Mn^{2+} dengan ion natrium (Na^+) atau kalsium (Ca^{2+}) yang ada di dalam struktur zeolit. Proses ini terjadi karena muatan negatif pada struktur zeolit menarik ion Mn^{2+} dari air [15]. Zeolit memiliki struktur berpori yang sangat baik dalam menyerap logam berat sekaligus mempercepat reaksi oksidasi. Struktur ini memungkinkan interaksi yang lebih besar antara air dan udara

selama proses aerasi. Zeolit juga dapat berfungsi sebagai katalis dalam reaksi oksidasi yang membantu meningkatkan kandungan oksigen terlarut lebih efektif daripada karbon aktif [16].



Gambar 2. Pengaruh Media Terhadap %Removal Mn dengan Jarak Antar Tray 40 cm
Sumber: Data penelitian, 2024

Sebelum dapat dihilangkan melalui proses adsorpsi, mangan biasanya memerlukan proses oksidasi ke bentuk MnO_2 (padatan). Pada media karbon aktif tidak memiliki kapasitas oksidasi bawaan yang cukup untuk mengubah mangan menjadi bentuk yang dapat diadsorpsi tersebut [17]. Mangan dalam air sering ditemukan dalam bentuk ion Mn^{2+} dimana ion tersebut memiliki muatan yang kecil dan lebih sulit untuk diadsorpsi oleh karbon aktif [13]. Sehingga untuk penghilangan kadar Mn paling optimal menggunakan penambahan media zeolit dibandingkan karbon aktif atau campuran keduanya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penambahan media pada proses aerasi dengan menggunakan tray aerator didapatkan kesimpulan bahwa aerasi dengan penambahan media karbon aktif terbukti lebih efektif dalam meremoval kandungan Fe (besi) dari air sumur. Sementara itu, aerasi dengan penambahan media zeolit menunjukkan kinerja yang lebih unggul dalam menghilangkan kandungan Mn (mangan). Perbedaan ini disebabkan oleh sifat material yang berbeda dari kedua media, di mana karbon aktif lebih efektif dalam adsorpsi logam Fe, sedangkan zeolit memiliki kemampuan oksidasi dan pertukaran ion yang lebih baik untuk Mn. Sedangkan untuk media campuran terbukti lebih efektif dalam menghilangkan besi (Fe) daripada mangan (Mn) namun tidak lebih optimal daripada menggunakan karbon aktif saja. Dengan Penurunan kadar Fe (besi) paling optimal adalah dengan aerasi penambahan media karbon aktif dan waktu aerasi selama 150 menit dengan persen removal sebesar 96,67%. Untuk menurunkan kadar Mn (mangan) paling optimal adalah aerasi dengan penambahan media zeolit dan waktu aerasi selama 150 menit dengan persen removal sebesar 99,08%.

5. Referensi

- [1] H. Karuniawan and M. Ali, "Variasi Tray Aerator Dengan Penambahan Media Kaolin Dan Karbon Aktif Untuk Menurunkan (Fe) dan (Mn) Terlarut di Air Sumur," *EnviroUS*, vol. 1, no. 2, pp. 135–142, 2021, doi: 10.33005/enviroUS.v1i2.49.
- [2] F. Zulya, F. Adnan, Y. P. Dewi, S. Nugroho, I. M. Manik, and Y. Tirana, "Perancangan Cascade Aerator Untuk Menurunkan Parameter Besi Dan Mangan Dalam Pengolahan Air Sumur," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 6, no. 2, pp. 17–22, 2022, [Online]. Available: <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TL/article/view/9712>.
- [3] R. Dewi, A. Azhari, and I. Nofriadi, "Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 9, no. 2, p. 12, 2021, doi: 10.29103/jtku.v9i2.3351.
- [4] I. S. Asisdiq and S. Side, "Kemampuan Tray Aerator Filter Zeolit Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Bersih," *Pendidik. Kim. PPs UNM*, vol. 1, no. 1, pp. 91–99, 2021.
- [5] S. Sudarni and H. Haderiah, "Aktivasi Zeolit Dan Karbon Aktif Dalam Menurunkan Kesadahan Air Di Kampung Sapiriakota Makassar," *Sulolipu Media Komun. Sivitas Akad. dan Masy.*, vol. 20, no. 1, p. 19, 2020, doi: 10.32382/sulolipu.v20i1.1459.
- [6] D. Ayu and M. Mirwan, "Penurunan Fe Dan Mn Pada Air Sumur Menggunakan Multiple Tray Aerator Piramida," *EnviroUS*, vol. 1, no. 1, pp. 28–35, 2020, doi: 10.33005/enviroUS.v1i1.13.

- [7] K. Hanifah, “Efektivitas Variasi Ukuran Media Arang Aktif dan Zeolit Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur,” *Kesehat. kemasayarakat Fak. Ilmu Kesehat. Univ. Jendral Soedirman*, vol. 10, p. 11, 2019.
- [8] G. Q. Dinora and A. Purnomo, “Penurunan Kandungan Zat Kapur dalam Air Tanah dengan Menggunakan Media Zeolit Alam dan Karbon Aktif Menjadi Air Bersih,” *Control Synchronous Mot.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–48, 2013, doi: 10.1002/9781118601785.ch1.
- [9] M. Al Kholif, S. Sugito, P. Pungut, and J. Sutrisno, “Kombinasi Tray Aerator Dan Filtrasi Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur,” *Ecotrophic J. Ilmu Lingkungan. (Journal Environ. Sci.*, vol. 14, no. 1, p. 28, 2020, doi: 10.24843/ejes.2020.v14.i01.p03.
- [10] M. Amiliza, “Penurunan Kadar Besi (Fe) Dengan Sistem Aerasi Dan Filtrasi Pada Air Sumur Gali,” vol. 2, no. 10, pp. 4161–4170, 2023.
- [11] Haryono, A. R. Noviyanti, and E. E. Ernawati, “Sintesis, Karakterisasi, dan Uji Adsorpsi Komposit Silika/Karbon dari Limbah Sekam Padi sebagai Adsorben Tembaga (II),” *J. Teknol. Lingkungan.*, vol. 24, no. 1, pp. 058–066, 2023, doi: 10.55981/jtl.2023.241.
- [12] Eko Hartini, “Efektivitas Cascade Aerator Dan Bubble Aerator Dalam Menurunkan Kadar Mangan Dalam Air,” *Fak. Kesehatan, Univ. Dian Nuswantoro, Semarang, Indones.*, vol. 8, no. 7, pp. 1–9, 2021.
- [13] R. Masriatini and M. Fatimura, “Pemanfaatan Karbon Aktif Sebagai Penyerap Ion Besi,” *J. Redoks*, vol. 3, no. 2, pp. 51–54, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/redoks/article/view/3335>.
- [14] I. Asmawati, D. D. Nuryani, N. Aryastuti, and D. Yunita, “Efektivitas Metode Aerasi Dalam Menurunkan Kadar Besi Pada Air Tanah di Desa Sidorejo Kecamatan Sidomulya Tahun 2021,” *Indones. J. Heal. Med.*, vol. 2, no. 2, pp. 223–233, 2022.
- [15] M. Maryudi, A. Aktawan, and S. Amelia, “Pengolahan Limbah Pewarna Metilen Biru Menggunakan Arang Aktif dan Zeolit Aktif dengan Katalis Fe dan Oksidator Hidrogen Peroksida,” *J. Ris. Kim.*, vol. 12, no. 2, 2021, doi: 10.25077/jrk.v12i2.414.
- [16] H. A. Aziz, S. N. M. Shahr, N. A. Akbar, and M. Y. D. Alazaiza, “The removal efficiency of iron and manganese from pre-ozonated groundwater using limestone filter,” *Water Qual. Res. J.*, vol. 55, no. 2, pp. 167–183, 2020, doi: 10.2166/wqrj.2020.014.
- [17] A. Shafira, Rusdianasari, and I. Hajar, “Penyisihan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air Sungai Musi Secara Kontinyu Menggunakan Karbon Aktif Tongkol Jagung Teraktivasi HCl,” *Concept Commun.*, vol. null, no. 23, pp. 301–316, 2023, doi: 10.15797/concom.2019..23.009.