

Analisis Pengaruh Variasi Jarak Tray terhadap Kinerja Tray Aerator dalam Menurunkan Kandungan Besi dan Mangan pada Air Sumur

Ratna Endah Dwi Puspitasari, Euis Nurul Hidayah

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: endahsaripuspita058@gmail.com, euisnh.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 20 November 2024

Disetujui: 05 Desember 2024

Abstract

This study aims to analyse the effect of tray spacing variations on the performance of tray aerators in reducing iron (Fe) and manganese (Mn) concentrations in well water. A quantitative experimental method was used with three tray spacing variations (30 cm, 40 cm and 60 cm) and different tray levels. The results indicate that the tray aerator with 40 cm tray spacing achieved iron removal efficiencies of up to 85.83% and manganese removal efficiencies of up to 35.14%, outperforming other spacing configurations. Tray spacing and aeration time were found to have a significant effect on removal efficiency, with 40 cm spacing providing an optimum balance between turbulence and contact time. In addition, the highest increase in dissolved oxygen (DO) occurred at 30 cm tray spacing. This study concludes that proper tray spacing arrangements can improve the effectiveness of tray aerators in treating well water.

Keywords : *tray aerator, tray spacing, aeration, fe, mn, dissolved oxygen*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak antar tray terhadap kinerja tray aerator dalam menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air sumur. Metode eksperimen kuantitatif digunakan dengan tiga variasi jarak antar tray (30 cm, 40 cm, dan 60 cm) serta jumlah tingkatan tray yang bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tray aerator dengan jarak antar tray 40 cm memberikan efisiensi penurunan Fe terlarut hingga 85,83% dan Mn terlarut hingga 35,14%, nilai yang lebih tinggi dibandingkan jarak lainnya. Variasi jarak antar tray dan waktu aerasi terbukti berpengaruh signifikan terhadap efisiensi removal, dengan jarak 40 cm memberikan keseimbangan optimal antara turbulensi dan waktu kontak. Selain itu, peningkatan kadar oksigen terlarut tertinggi terjadi pada jarak antar tray 30 cm. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengaturan jarak antar tray yang tepat dapat meningkatkan efektivitas tray aerator dalam pengolahan air sumur.

Kata Kunci : *tray aerator, jarak antar tray, aerasi, fe, mn, oksigen terlarut*

1. Pendahuluan

Salah satu komponen yang sangat penting di dalam kehidupan sehari-hari adalah air. Di Indonesia, air baku yang banyak digunakan sebagai sumber utama air bersih dan bahkan digunakan sebagai sumber air minum berasal dari air tanah (air sumur). Sebagian masyarakat Indonesia terutama masyarakat pedesaan masih memiliki dan menggunakan air sumur untuk kegiatan sehari-harinya. Sumber air tanah memiliki permasalahan utama yaitu kandungan mineralnya yang tinggi. Hal tersebut perlu diperhatikan karena kandungan mineral yang tinggi, seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) di dalam air dapat meningkatkan resiko gangguan kesehatan. Konsumsi air yang mengandung zat besi dalam waktu yang lama dapat menyebabkan penyakit *hemokromatosis* atau kelebihan zat besi [10].

Sama halnya dengan besi, kandungan mangan yang tinggi melebihi baku mutu akan menyebabkan gangguan kesehatan seperti gangguan fungsi hati [6]. Mangan merupakan logam yang banyak ditemukan di kerak bumi dan sering ditemukan bersamaan dengan besi. Baik besi maupun mangan merupakan logam terlarut di dalam air tanah maupun air permukaan yang mengandung sedikit oksigen. Air dengan kandungan besi dan mangan yang tinggi harus diolah agar aman untuk digunakan. Salah satu metode yang sering dilakukan untuk mengatasi permasalahan besi dan mangan ini adalah metode aerasi.

Pada dasarnya, pengolahan air menggunakan metode aerasi melibatkan kontak langsung antara udara dengan air dan menambahkannya secara bersamaan [9]. Terdapat berbagai jenis aerator salah satunya *tray aerator* yang memanfaatkan susunan nampan bertingkat secara vertikal. Prinsip kerja dari *tray aerator* adalah dengan melewatkan air melalui lubang-lubang yang ada pada tray sehingga terdapat kontak air

dengan udara ketika air jatuh dan melewati lubang. Penelitian yang dilakukan [3], dengan air baku air sumur menggunakan *tray aerator* berjumlah 4 tray dengan jarak antar tray 30 cm didapatkan efisiensi penurunan Fe sebesar 98,34% dan penurunan Mn sebesar 97,40%. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Sari & Yulis, 2021 dengan menggunakan air baku air sumur menggunakan *tray aerator* berjumlah 6 tray dengan jarak antar tray 20 cm didapatkan efisiensi penurunan Fe sebesar 82,48% [9]. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan di dalam jurnal ini berfokus untuk mengetahui pengaruh variasi jarak antar tray keefisienan *tray aerator* dalam menurunkan kadar parameter besi (Fe) dan mangan (Mn).

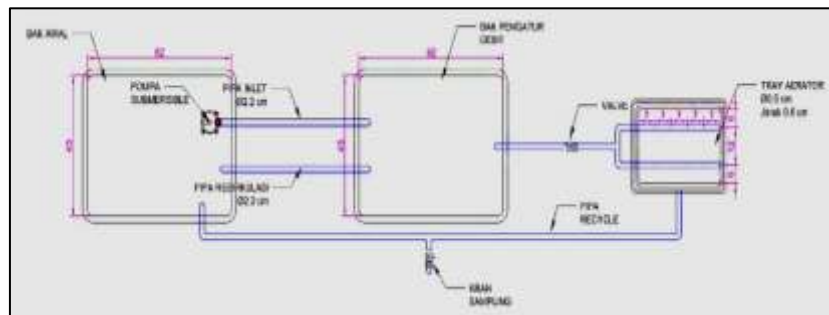
2. Metode Penelitian

Uji Pendahuluan

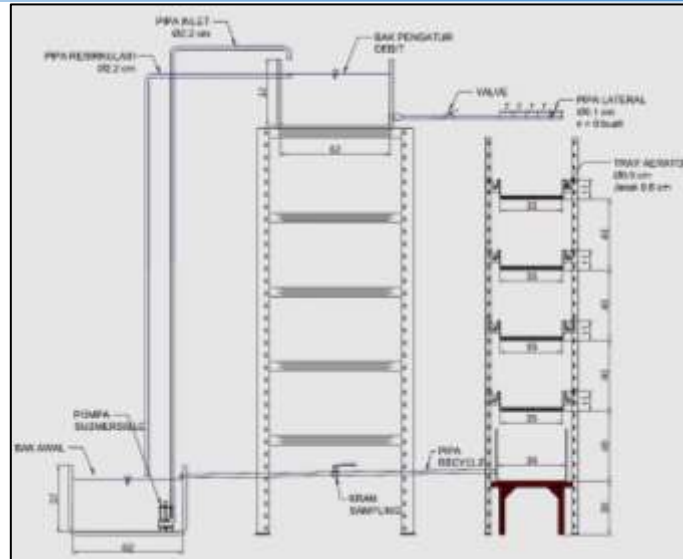
Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen kuantitatif dimana hasil dari penelitian ini berupa angka dan akan dijelaskan mengenai perbandingan pengaruh antar variabel yang ada di dalam penelitian. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *tray aerator* dengan 3 variasi jarak antar tray dan jumlah tingkatan tray. Variasi rancangan *tray aerator* yang digunakan terdiri dari tray aerator dengan jarak antar tray 30 cm dan 5 tingkatan, jarak antar tray 40 cm dan 4 tingkatan, serta jarak antar tray 60 cm dan 3 tingkatan. Sebelum dilakukan penelitian, air baku yang akan diolah diuji parameter awalnya Uji pendahuluan tersebut meliputi warna, bau, kadar Fe, kadar Mn, dan pH.

Penelitian (Running reactor)

Air baku yang telah diketahui karakteristik awalnya kemudian diolah menggunakan *tray aerator*. *Tray aerator* yang digunakan di dalam penelitian ini memiliki rancangan tray yang dapat diubah jarak dan jumlah tingkatannya. Tinggi total untuk setiap variasi tray adalah ± 2 meter. Air baku yang akan diolah diletakkan pada bak awal, kemudian dipompa menuju bak pengatur debit. Pada bak pengatur debit dilengkapi dengan pipa resirkulasi untuk mengembalikan air yang berlebih agar debit yang dikeluarkan tetap stabil. Setelah air berada di dalam bak pengatur debit, kemudian air dialirkan menuju pipa lateral yang didesain memiliki 2 cabang dan 4 lubang pada setiap cabangnya untuk memudahkan distribusi air secara merata ke tray awal. Kemudian air akan mengalir melewati tiap tingkatan tray dan menuju ke bak akhir. Pada bak akhir dilengkapi dengan pipa menuju bak awal untuk keperluan recycle air yang telah diolah. Pada tiap tray terdapat lubang-lubang sebesar 0,5 cm yang berfungsi untuk mengalirkan air. Pengolahan dilakukan selama 2,5 jam untuk setiap jenis air baku dan diambil sampel dengan interval waktu setiap 30 menit. Rancangan desain *tray aerator* dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



Gambar 1 Desain Tray AeratorTampak Atas
 Sumber : Peneliti (2024)



Gambar 2 Desain Tray Aerator Tampak Samping
Sumber : Peneliti (2024)

Uji Parameter

Uji parameter pada setiap sampel air baku yang telah diolah dilakukan secara in-situ dan ex-situ. Pengujian secara in-situ dilakukan karena terdapat beberapa parameter yang harus segera diuji bersamaan dengan pengambilan sampel. Hal tersebut dapat terjadi karena terdapat beberapa parameter yang rawan berubah saat dilakukan penyimpanan sampel. Parameter yang diuji secara in-situ adalah parameter DO dan suhu dengan menggunakan DO meter, serta parameter pH dengan menggunakan pH meter. Parameter yang diuji secara ex-situ adalah parameter Fe terlarut yang diuji di Laboratorium Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur dan parameter Mn terlarut yang di uji di Laboratorium DLH Provinsi Jawa Timur.

3. Hasil dan Pembahasan

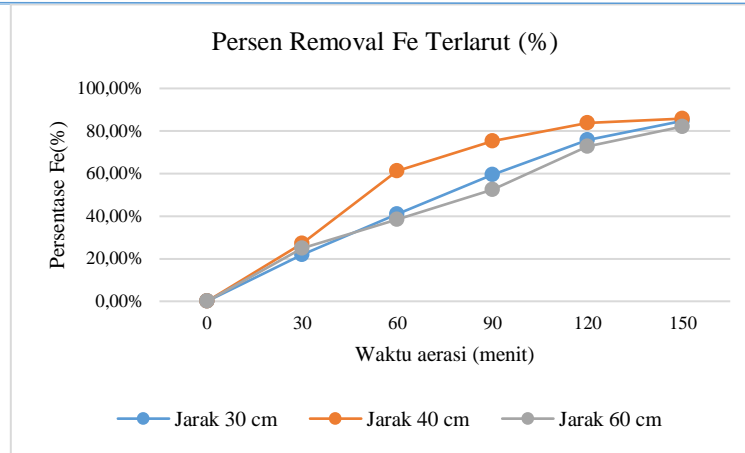
3.1 Parameter Besi (Fe) Terlarut

Parameter Fe terlarut merupakan parameter yang sering ditemui pada air tanah dikarenakan keberadaan air tanah yang berada pada tempat yang memiliki sedikit oksigen sehingga logam berat seperti Fe lebih mudah larut. Pengolahan yang banyak digunakan untuk air tanah yang mengandung logam besi adalah proses aerasi. Proses aerasi dapat mengubah besi terlarut menjadi tidak terlarut sehingga dapat dengan mudah diendapkan dan dihilangkan. Proses aerasi bertujuan untuk mengontakkan air dengan udara (oksigen), sehingga air akan mengikat oksigen menjadi oksigen terlarut. Oksigen terlarut yang terkandung kemudian mengikat besi terlarut sehingga berubah menjadi $Fe(OH)_3$ dan membentuk padatan yang dapat terendapkan [2].

Tabel 1. Konsentrasi dan Persen Removal Fe Terlarut

Waktu Aerasi (menit)	Konsentrasi Fe Terlarut (mg/L)			Persentase Removal Fe Terlarut (%)		
	Jarak Antar Tray (cm)			Jarak Antar Tray (cm)		
	30	40	60	30	40	60
0	3,42	3,19	3,76	0,00%	0,00%	0,00%
30	2,67	2,32	2,82	21,84%	27,24%	24,92%
60	2,02	1,24	2,32	40,96%	61,22%	38,33%
90	1,39	0,79	1,79	59,36%	75,20%	52,34%
120	0,83	0,52	1,02	75,88%	83,67%	72,85%
150	0,52	0,45	0,67	84,77%	85,83%	82,13%

Sumber : Data Penelitian, 2024



Gambar 3. Grafik Persentase Removal Fe

Berdasarkan data hasil penelitian dan grafik, persentase removal Fe terlarut mengalami peningkatan seiring dengan penambahan waktu aerasi. Pada grafik penelitian terlihat bahwa persentase removal Fe terlarut pada setiap variasi jarak antar tray tidak terlalu menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun pada waktu aerasi 60 menit, 90 menit dan 120 menit, diketahui untuk tray aerator dengan jarak antar tray 40 cm memiliki nilai sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan variasi jarak lainnya. Persentase removal Fe terlarut terbesar untuk air baku 2 mencapai 85,83% pada jarak antar tray 40 cm.

Dalam Uji ANOVA didapatkan bahwa variasi jarak antar tray dan waktu aerasi memiliki pengaruh yang signifikan ($p\text{-value} < 0,05$) terhadap persentase removal Fe terlarut. Pada uji lanjutan ANOVA didapatkan hasil bahwa jarak antar tray 40 cm memiliki nilai mean yang lebih besar dibandingkan dengan variasi jarak lain. Penghilangan besi terlarut dapat terjadi setelah adanya proses oksidasi saat aerasi dan proses oksidasi tersebut membutuhkan waktu yang berbeda-beda. Karakteristik air baku seperti nilai pH, kadar oksigen terlarut, dan parameter lain juga mempengaruhi lama waktu kecepatan reaksi oksidasi besi. Semakin tinggi pH air, maka semakin cepat proses oksidasi besi sehingga persentase removal besi semakin besar. Nilai pH terbaik untuk proses reaksi oksidasi pada besi berada pada rentang nilai 7,5-8,5 [11].

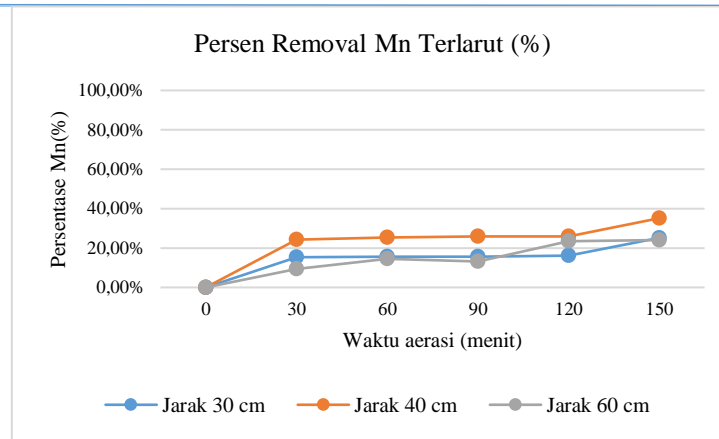
3.2 Parameter Mangan (Mn) Terlarut

Parameter mangan terlarut jarang terdapat di alam dalam keadaan unsur, umumnya terdapat dalam keadaan senyawa dengan variasi valensi. Hampir semua air tanah memiliki unsur besi (Fe) di dalamnya, hal tersebut tidak berlaku untuk unsur mangan. Namun unsur mangan biasanya hadir bersama dengan unsur besi. Mangan valensi 2 (khususnya dalam bentuk permanganate) merupakan senyawa kuat yang dapat merusak selaput lendir, menyebabkan gangguan pada kerongkongan, dan berkembangnya penyakit manganism [7]. Sama halnya dengan besi, mangan terlarut di dalam air dapat dihilangkan dengan menggunakan proses aerasi. Namun, proses oksidasi mangan memiliki kecepatan yang cenderung lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan oksidasi besi.

Tabel 2. Konsentrasi dan Persen Removal Fe Terlarut

Waktu Aerasi (menit)	Konsentrasi Mn Terlarut (mg/L)			Persentase Removal Mn Terlarut (%)		
	Jarak Antar Tray (cm)			Jarak Antar Tray (cm)		
	30	40	60	30	40	60
0	1,69	1,85	1,58	0,00%	0,00%	0,00%
30	1,43	1,40	1,43	15,44%	24,32%	9,49%
60	1,43	1,38	1,35	15,50%	25,41%	14,56%
90	1,43	1,37	1,37	15,62%	25,95%	13,29%
120	1,42	1,37	1,21	16,04%	25,95%	23,42%
150	1,27	1,20	1,20	25,15%	35,14%	24,05%

Sumber : Data Penelitian, 2024



Gambar 4. Grafik Persentase Removal Fe

Berdasarkan data hasil penelitian dan grafik, persentase removal Mn terlarut mengalami peningkatan seiring dengan penambahan waktu aerasi. Pada grafik penelitian terlihat bahwa persentase removal Mn terlarut pada variasi jarak antar tray 40 cm menunjukkan grafik yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan variasi jarak yang lainnya. Persentase removal Mn terlarut terbesar mencapai 35,14% pada jarak antar tray 40 cm. Persentase removal Mn terlarut memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan persentase Fe, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan kecepatan oksidasi mangan lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan oksidasi besi. Kecepatan oksidasi mangan lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan oksidasi besi sehingga mangan lebih sulit berubah menjadi padatan [8].

Dalam Uji ANOVA, variasi jarak antar tray dan waktu aerasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap persentase removal Mn ($P\text{-value} < 0,05$). Uji lanjutan ANOVA didapatkan hasil bahwa jarak antar tray 40 cm memiliki nilai mean yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi jarak antar tray yang lain. Sama halnya dengan besi terlarut, oksidasi mangan terlarut dipengaruhi dengan pH air yang diolah. Apabila air baku yang diolah memiliki pH dibawah 9,5, maka proses oksidasi logam mangan menjadi kurang efektif [5].

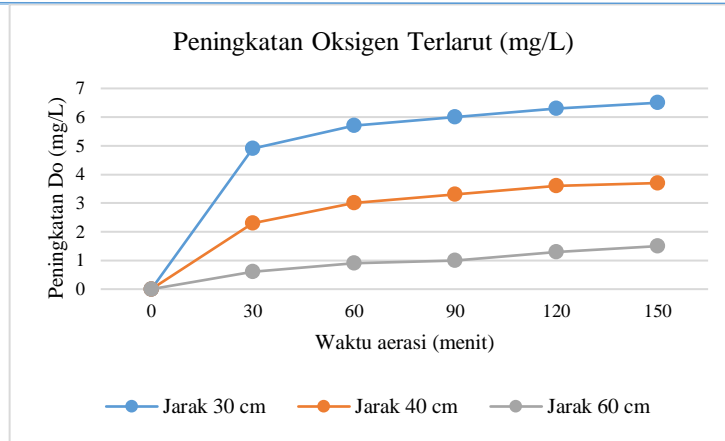
3.3 Pengaruh Jarak Antar Tray terhadap Peningkatan Oksigen Terlarut

Konsentrasi oksigen terlarut di dalam air merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan kualitas air dalam perairan. Aerator digunakan untuk meningkatkan kadar DO di badan air, sehingga meningkatkan laju transfer oksigen serta memberikan sirkulasi air untuk mencegah stratifikasi di badan air [9]. Pengukuran kadar DO sebelum dan setelah dilakukannya proses aerasi sangat diperlukan karena peningkatan nilai DO digunakan sebagai patokan keberhasilan adanya proses transfer gas di dalam air [2]. Kadar oksigen yang cukup diperlukan untuk mengubah ion logam terlarut menjadi bentuk yang tidak larut, yang kemudian dapat diendapkan dan dihilangkan.

Tabel 3. Peningkatan Oksigen Terlarut (mg/L)

Jarak Antar Tray (cm)	Peningkatan Oksigen Terlarut (mg/L)						Rata-rata
	Waktu Aerasi (menit)						
	0	30	60	90	120	150	
30	0	4,9	5,7	6	6,3	6,5	4,9
40	0	2,3	3	3,3	3,6	3,7	2,65
60	0	0,6	0,9	1	1,3	1,5	0,88

Sumber : Data Penelitian, 2024



Gambar 5. Peningkatan Oksigen Terlarut (mg/L)

Dari hasil pengujian ketiga air sumur, didapatkan nilai konsentrasi oksigen terlarut atau *Dissolve Oxygen* (DO) selalu meningkat seiring bertambahnya waktu aerasi pada setiap variasi jarak. Semakin lama waktu yang digunakan untuk proses aerasi menyebabkan kontak oksigen dengan air menjadi maksimal sehingga konsentrasi DO di dalam air meningkat dan proses oksidasi semakin optimal. Hasil penelitian sejalan dengan pendapat [11], bahwa semakin lama dilakukannya proses aerasi maka konsentrasi DO akan semakin meningkat. Pada grafik terlihat bahwa *tray aerator* dengan jarak antar tray 30cm memiliki nilai peningkatan konsentrasi DO melebihi variasi jarak lain. Pada data hasil pengolahan air sumur 2, rata-rata peningkatan konsentrasi oksigen tertinggi sebesar 4,90 mg/L dihasilkan oleh *tray aerator* 5 tingkat dengan jarak antar tray 30 cm.

4. Kesimpulan

Variabel Jarak Antar tray memiliki pengaruh pada beberapa parameter yang terdapat pada air baku setelah dilakukannya proses aerasi menggunakan *tray aerator*. Jarak antar tray 40 cm dengan 4 tingkatan memiliki pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan dengan jarak yang lain, terutama pengaruhnya terhadap persentase removal Fe terlarut dan Mn terlarut. Jarak 40 cm memberikan waktu optimal antara air yang mengalir dan udara, sehingga oksidasi Fe dan Mn menjadi lebih efektif. Jarak yang terlalu pendek mungkin menghasilkan waktu kontak yang terlalu singkat, sementara jarak terlalu jauh bisa menyebabkan turbulensi menurun. Jarak 40 cm memberikan keseimbangan antara jumlah tingkatan (menghasilkan turbulensi) dan jarak yang tidak terlalu jauh, sehingga oksigen dapat bercampur secara merata dengan air.

5. Referensi

- [1] Abuzar, S. S., Putra, Y. D., & Emargi, R. E. (2012, Juli). Koefisien Transfer Gas (KLa) Pada Proses Aerasi Menggunakan Tray erator Bertingkat 5 (Lima). *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 9(2), 132-140.
- [2] Adnan, F., Dewi, Y., Nugroho, S., Manik, I., Tirana, Y., Rahni, R., . . . Waryati. (2022). Perancangan Cascade Aerator untuk Menurunkan Parameter Besi dan Mangan dalam Pengolahan Air Sumur. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 6(2), 18-23.
- [3] Al Kholif, M., Sugito, Pungut, & Sutrisno, J. (2020). Kombinasi Tray Aerator dan Filtrasi Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Sumur. *ECOTROPHIC*, 14(1), 28-36.
- [4] Annam, M. K., Handayani, Y. L., & Darmayanti, L. (2022, Maret). Pemetaan Salinitas Sumur Dangkal Berdasarkan Jumlah. *JICE - Journal Of Infrastructure and Civil Engineering*, 02(01), 25-33.
- [5] Asmadi, Khayan, & Kasjono, H. S. (2011). *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Gosyen Publishihing.
- [6] Awlihasanah, R., Sari, D. N., Azrinindita, E. D., Nyimas, S. M., Yanti, D., Maulidia, N. S., & Sulistiyorini, D. (2021, November). Analisis Resiko Kesehatan Lingkungan Kandungan Mangan pada Air Sumur Warga Kota Depok. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 1(2), 80-86. doi:<https://doi.org/10.36086/salink.v1i2.1051>
- [7] Hasanuddin, & Leonard, F. (2023). Konsentrasi Logam Berat Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu) pada Perairan Sungai Radda. *Jurnal Penelitian Multidisiplin Ilmu*, 2(4), 2167-2172.
- [8] Said, N. I. (2005). Metoda Penghilangan Zat Besi dan Mangan Di Dalam Penyediaan Air Minum Domestik. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3), 239-250.

- [9] Sari, Y., & Yulis, P. A. (2021). Reduction of Fe Levels in Groundwater Using Aeration-Filtration Method with Tray Aerator System. *ALKIMIA : Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 5(1), 110-115. doi: <https://doi.org/10.19109/alkimia.v5i1.8843>
- [10] Sarkar, A., & Shekhar, S. (2018, September 1). Iron contamination in the waters of Upper Yamuna basin. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, 421-429. doi:10.1016/j.gsd.2017.12.011
- [11] Septiansyah, E., Purnaini, R., & Danial, M. M. (2024, Januari). Effectivity Of Multi Tray Aerator As Pretreatment Process For Reverse Osmosis Membrane To Utilized As Raw Water At Sungai Itik Village. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 16(1), 105-116.
- [12] Suhermono, Mursyid, A., Mahreda, E. S., & Chairuddin, G. (2014). Analisis Kandungan Nesi (Fe), Mangan (Mn), dan pH Air Tanah Hasil Pemboran Geoteknik Di Tambang Batubara PT Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong dan Balangan Provinsi Kallimantan Selatan. *EnviroScienteeae*, 103-111.
- [13] Syauqiah, I., Wiyono, N., & Faturrahman, A. (2017). Sistem Pengolahan Air Minum Sederhana (Portable Water Treatment). *Konversi*, 6(1), 28-36.
- [14] Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok Sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 4(2), 175-184.
- [15] Yuniarti, D. P., Komala, R., & Aziz, S. (2019). Pengaruh Proses Arasi Terhadap Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit di PTPN VII Secara Aerobiik. *Universitas PGRI Palembang*, 4(2), 7-16.