

Analisa Pengaruh Waktu Aerasi Terhadap Penurunan Kadar Zat Besi (Fe) Dalam Pengolahan Air Bersih

Boris Habibullah Sitorus¹⁾; Ratih Diah Andayani²⁾ ; Reny Afriany³⁾

^{1,2,3)}**Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas IBA**

Email: ¹⁾ boris.habibullahsitorus12@gmail.com ; ²⁾ ratih.ratih88996@gmail.com ; ³⁾ reny.afriany@yahoo.com

ARTICLE HISTORY

Received [14 Agustus 2025]

Revised [29 September 2025]

Accepted [03 Oktober 2025]

KEYWORDS

Aeration, Iron Content, Head Loss.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Perumahan Gran Serra di Palembang merupakan salah satu kawasan yang belum dapat suplai air bersih dari PDAM. Untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari warga memanfaatkan air sumur gali yang memiliki kadungan zat besi 1,15 mg/L. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi waktu aerasi terhadap penurunan kadar zat besi (Fe) dengan metode aerasi-filtrasi serta dilakukan perhitungan debit, kecepatan, bilangan Reynold, kerugian head dan koefisien kerugian pada aerasi. Proses aerasi dilakukan dengan variasi waktu 45 dan 75 menit dilanjutkan dengan filtrasi. Hasil penelitian menunjukkan kandungan zat besi menurun dengan bertambahnya waktu aerasi pada aerasi 45 menit menurun sebesar 0,92 mg/l (penurunan 20%) dan pada 75 menit kandungan zat besi menjadi 0,37 mg/l (penurunan 68%). Sementara proses aerasi dilakukan pada debit: 0,000328 m³/s, Kecepatan aliran: 2,549508284 m/s, bilangan Reynold: 40.550563, kerugian head: 2,04204 koefisien kerugian : 6,15755. Hasil ini membuktikan bahwa aerasi selama 75 menit belum bisa menurunkan kadar besi sebesar 0,2 mg/L.

ABSTRACT

Gran serra housing in Palembang is one of the areas that has not yet received clean water supply from the local water utility (PDAM). To meet daily water needs, residents rely on dug well water containing iron (Fe) at a concentration of 1,15 mg/L. this study aims to analyze the effect of aeration time variation on the reduction of iron content using the aeration-filtration method. During the aeration process, hydraulic parameters such as flow rate, velocity, Reynolds number, head loss, and loss coefficient were calculated. Aeration was carried out for 45 and 75 minutes, followed by a filtration process. The results showed that after 45 minutes of aeration-filtration, iron content decreased to 0,92 mg/L (a 3% reduction), and after 75 minutes, it decreased to 0,37 mg/L (a 68% reduction). The aeration process yielded a flow rate of 0,000328 m³/s, velocity of 2,549508284 m/s, Reynolds number of 40.550563, head loss of 2,04204 and loss coefficient of 6,15755. These findings demonstrate that 75 minutes of aeration followed by filtration is effective in reducing iron levels in well water.

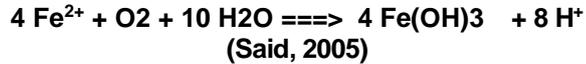
PENDAHULUAN

Air yang layak untuk digunakan sebagai sumber air harus memenuhi standar kualitas tertentu yang telah ditetapkan dalam Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017. Peraturan ini mengatur syarat-syarat yang harus dipenuhi agar air aman digunakan tanpa menimbulkan gangguan kesehatan. Setiap penyedia air wajib mengacu pada standar kualitas yang ditentukan untuk memastikan bahwa air yang disuplai kepada masyarakat memenuhi kriteria kesehatan yang telah ditetapkan. Peraturan tersebut berfungsi sebagai panduan dalam memastikan kualitas air yang diproduksi sesuai dengan persyaratan kesehatan, serta memberikan dasar hukum dan teknis untuk pengawasan mutu air bersih. Oleh karena itu, air yang digunakan sehari-hari idealnya harus memenuhi kriteria tertentu, yakni tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, jernih, dan memiliki suhu yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku (Wahyuni & Junianto, 2017).

Namun, di Perumahan Gran Serra, Kota Palembang, hingga saat ini belum tersedia layanan air bersih dari PDAM. Untuk memenuhi kebutuhan air, warga setempat mengandalkan air sumur gali yang mengandung zat besi (Fe) sebesar 1,15 mg/L. Kandungan zat besi ini melebihi batas yang ditetapkan dalam Permenkes RI No. 32 Tahun 2017, yaitu sebesar 0,2 mg/L. Kandungan zat besi yang tinggi ini dapat mempengaruhi kualitas air yang digunakan oleh warga, baik dari segi rasa, warna, maupun dampaknya terhadap kesehatan. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi yang jelas dan terperinci mengenai kualitas air di Perumahan Gran Serra, sehingga dapat menjadi dasar untuk perbaikan kualitas air yang lebih baik. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi pihak berwenang dan masyarakat terkait dengan langkah-langkah yang perlu diambil untuk memastikan ketersediaan air bersih yang memenuhi standar kualitas kesehatan yang berlaku. Penelitian ini juga dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik mengenai pentingnya pengawasan kualitas air, serta mendukung upaya peningkatan kualitas hidup masyarakat melalui penyediaan air bersih yang aman dan sehat.

LANDASAN TEORI

Besi merupakan salah satu elemen kimiawi yang hampir dapat ditemui setiap tempat dibumi, pada umumnya logam besi ada didalam air, dalam bentuk ion terlarut Fe^{2+} untuk menurunkan kadar logam ini perlu dilakukan proses oksidasi yang dapat mengubahnya menjadi bentuk senyawa Fe^{3+} tak terlarut $Fe(OH)_3$ yang kemudian dapat dipisahkan, adapun reaksi yang terjadi pada proses aerasi sebagai berikut :



Aerasi adalah suatu proses penambahan udara atau oksigen dalam air dengan memberikan gelembung-gelembung halus udara dan membiarkan naik melalui air. Tujuan dari aerasi ialah untuk melarutkan oksigen kedalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air dan melepaskan kandungan gas-gas yang terlarut dalam air, serta membantu pengadukan air, di dalam proses penghilangan besi dan mangan dengan cara Aerasi (Said, 2005).

Venturi aerator adalah media alat yang digunakan untuk menghasilkan gelembung udara yang dimana fungsinya untuk menggerakkan air di dalam suatu ruangan agar air kaya akan oksigen terlarut sedangkan definisi dari venturi adalah fenomena yang dapat menurunkan tekanan dan peningkatan kecepatan ketika fluida bergerak melalui pipa menyempit dimana alat ini berkerja untuk untuk media suplay oksigen gelembung udara yang dapat menggerakkan air didalam suatu bidang permukaan udara tersebut membentuk gelembung-gelembung halus yang dapat mempercepat proses oksidasi logam. (Elfa & Ikhlasul, 2021). Pergerakan fluida memiliki keterkaitan erat dengan bilangan Reynold. Yaitu suatu bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis fluida, apakah termasuk aliran laminar, turbulen atau transisi. Bilangan ini pertama kali diperkenalkan oleh Osbourne Reynold (1842 - 1912) pada tahun 1883, dan hingga ini menjadi parameter penting dalam aliran fluida. Untuk aliran didalam pipa kecepatan rata-rata aliran digunakan sebagai kecepatan karakteristik, sedangkan diameter dalam pipa digunakan sebagai Panjang karakteristik perhitungan debit dan dinyatakan dalam rumus :

$$Q = V/t \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana
Q = Debit (m^3/s)
V = Volume (m^3)
t = Waktu (s)

Menghitung kecepatan Aliran (v)

$$v = Q/A \quad \dots\dots\dots(2)$$

dimana
v = Kecepatan (m/s)
Q = Debit (m^3/s)
A = Luas penampang (m^2)

Menghitung bilangan Reynold

$$Re = (\rho d v)/\mu \quad \dots\dots\dots(3)$$

dimana
Re : bilangan Reynolds
 μ : viskositas air (mPa s)
v : kecepatan (m/s)
d : diameter (m)
 ρ : massa jenis air (kg/m^3)

Menghitung kerugian head

Kerugian head adalah penurunan energi pada aliran fluida dalam sistem perpipaan yang disebabkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding pipa serta akibat adanya perubahan arah belokan, siku dan sambungan kecepatan aliran. Kerugian head terbagi menjadi dua jenis, yaitu kerugian mayor dan kerugian minor. Kerugian mayor terjadi karena adanya gesekan fluida dengan dinding pipa yakni kekasaran permukaan dinding pipa yang dialiri fluida. Andayani et al. (2022), menyatakan kekasaran lapisan pada permukaan pipa sangat berpengaruh terhadap kerugian head yang terjadi pada aliran fluida dimana semakin kasar lapisan permukaan dinding pipa, maka kerugian head semakin besar. Sedangkan kerugian minor adalah kerugian yang disebabkan oleh perubahan arah atau kecepatan aliran hal ini sesuai dengan pernyataan pada penelitian

Andayani et al. (2023) yang menyatakan kerugian head (h_L) dan koefisien kerugian (K_L) dipengaruhi oleh bukaan valve dimana semakin besar bukaan valve, maka nilai kerugian head dan koefisien kerugian semakin kecil. Adapun kerugian head dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$h_L = \Delta P / (\rho \cdot g) \dots\dots\dots(1)$$

dimana

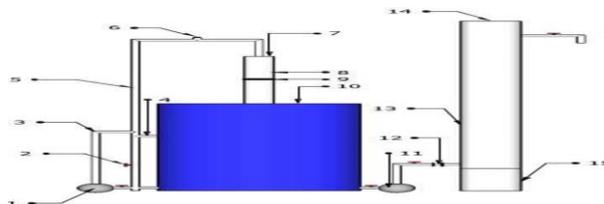
- ΔP : Perbedaan tekanan (Pa)
- ρ : Densitas fluida (kg/m^3)
- g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
- h : Perbedaan ketinggian kolom (m)

Untuk menentukan koefisien gesek (K_L), dirumuskan sebagai berikut :

$$K_L = h_L / ((V^2 / 2g) = \Delta P / (1/2 \rho V^2) \dots\dots\dots(2)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Mesin Universitas IBA dimana penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan metode proses aerasi dengan aerator venturi dengan kombinasi filtrasi. Adapun sampel air yang digunakan merupakan sampel air tanah sumur gali yang berasal dari Perumahan Gran Serra, Kecamatan sematang borang , kelurahan sukamulya kota Palembang. Dimana air akan diolah menggunakan pengolahan aerasi dan filtrasi. Proses aerasi dilakukan dengan menggunakan aerator venturi yang divariasikan waktu proses aerasi yaitu 45 menit dan 75 menit sedangkan untuk proses filtrasi yaitu dengan menggunakan media ijuk, pasir silika, karbon aktif dan mangan zeloid.



Gambar 1 Alat pengelolaan Air menggunakan Aerator venturi dan Filtrasi

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Pompa air sentrifugal
2. Aerator venturi
3. Drum plastik
4. Pipa PVC
5. Alat ukur Flowmeter
6. Piknometer
7. Stopwatch
8. Media bahan Filtrasi
9. Mangan zeloid dengan tinggi 400 mm
10. Karbon aktif arang batok kelapa dengan tinggi 300 mm
11. Pasir silika dengan tinggi 200 mm
12. Ijuk dengan tinggi 100 mm

Cara kerja dari alat rangkaian uji ini dengan cara menghisap dan memompa fluida dalam reservoir melalui pompa hisap, lalu diatur debitnya dengan menggunakan control valve, selanjutnya fluida masuk melalui flowmeter, dan selanjutnya fluida mengalir melewati aerator venturi dengan variasi waktu 45 dan 75 menit. Setelah proses aerasi fluida kemudian melewati filter yang berisi media pasir silika, mangan zeloid, karbon aktif dan ijuk, dimana filter ini berfungsi untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak diinginkan dalam fluida. Analisa dilakukan terhadap penurunan kadar Fe pada proses aerasi dan filtrasi.

Pengolahan Data

Perhitungan Proses Aerasi Venturi

Dari rangkaian pemasangan alat uji diketahui:

Diameter dalam pipa (D) : 0,0127 m
Luas penampang pipa (A) : $1,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Densitas air (ρ) : $0,9994 \text{ kg/m}^3$
Viskositas Dinamik (μ) : $0,798 \times 10^{-3} \text{ kg}$
Debit_{Aerasi} flometer (Q) : $19,4 \text{ L/menit} = 3,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Perhitungan Debit (Q)

$$Q_{\text{Real aerasi}} = \frac{14,3 - 4,6167}{0,5} = 19,4 \text{ L/Min} = 0,0003228 \text{ m}^3/\text{s}$$

Perhitungan kecepatan

$$V_{\text{Aerasi}} = \frac{0,00032 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0001267 \text{ m}^2} = 2,549508284 \text{ m/s}$$

Perhitungan Bilangan Reynold (Re)

$$Re_{\text{Aerasi}} = \frac{0,9994 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,54951 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0127 \text{ m}}{0,000798} = 40,550563$$

Perhitungan kerugian head (h_L)

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \longrightarrow h_{L\text{Aerasi}} = \frac{0,6 \text{ bar}}{0,9994 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{60000 \text{ Pa}}{9,79412 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}} = 2,04204$$

Perhitungan koefisien kerugian (K_L)

$$K_L = \frac{h_L}{V^2 / 2g} \longrightarrow K_L = \frac{6,126 \text{ m}}{2,54951^2 \frac{\text{m}^2/\text{s}^2} / 2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6,15755$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada proses aerasi didapatkan debit, kecepatan, bilangan Reynold dan kerugian head serta koefisien kerugian yang terjadi pada proses aerasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

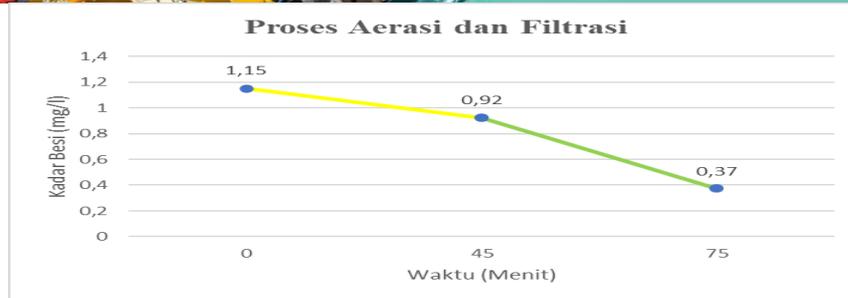
Tabel 1. Hasil Perhitungan Proses Aerasi, Metode Aerator Venturi

Debit _{Aerasi} (m ³ /s)	Kecepatan _{Aerasi} (m/s)	Re _{Aerasi}	h _L _{Aerasi}	KL _{Aerasi}
0,0003228	2,549508284	40,550536	2,04204	6,15755

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan untuk mengetahui kadar zat besi dapat pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Zat Besi

Variasi waktu Metode Pengolahan Air	Kadar Fe (mg/l)	Penurunan %
Air Baku (0 Menit)	1,15	
Aerasi 45 Menit dan Filtrasi	0,37	20%
Aerasi 75 Menit dan Filtrasi	0,92	68%



Gambar 2. Grafik Penurunan Kadar Zat Besi pada Proses Aerasi kombinasi Filtrasi

Dari gambar terlihat kombinasi proses aerasi dan filtrasi secara signifikan menurunkan kadar zat besi dalam air. Pada menit ke-0 (sebelum aerasi), kandungan kadar Fe sebesar 1,15 mg/l yang menandakan kondisi awal air baku dengan kandungan besi cukup tinggi akan tetapi setelah dilakukan aerasi selama 45 menit dan dilanjutkan filtrasi kadar Fe menurun menjadi 0,92 mg/L dengan persentase penurunan 20%, kemudian pada waktu proses aerasi 75 menit dan dilanjutkan filtrasi kadar Fe menurun drastis menjadi 0,37 mg/L dengan persentase penurunan 68% dimana hal ini menunjukkan bahwa proses aerasi sudah mulai mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , membentuk partikel padat seperti $Fe(OH)_3$ yang dapat disaring. Melihat hasil ini menunjukkan bahwa proses filtrasi setelah aerasi sangat berperan penting dalam menyaring partikel besi yang telah teroksidasi dan mengendap.

Pembahasan

Hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada proses aerasi menunjukkan bahwa beberapa parameter penting, seperti debit, kecepatan, bilangan Reynolds, kerugian head, dan koefisien kerugian, dapat dianalisis untuk memahami efisiensi proses aerasi. Debit dan kecepatan menunjukkan kapasitas aliran yang digunakan dalam proses, sedangkan bilangan Reynolds memberikan indikasi tentang karakteristik aliran (apakah laminar atau turbulen), yang penting dalam proses aerasi yang melibatkan transfer massa gas ke dalam air. Kerugian head dan koefisien kerugian menggambarkan seberapa besar energi yang hilang selama proses aerasi, yang dapat mempengaruhi efisiensi dan biaya operasional sistem aerasi. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat secara rinci dalam tabel yang disediakan, yang membantu dalam mengevaluasi performa sistem aerasi. Lebih lanjut, untuk mengetahui kadar zat besi dalam air, data yang diperoleh melalui pengolahan dapat dilihat pada tabel dan grafik yang disediakan. Grafik tersebut memberikan gambaran visual mengenai perubahan kadar zat besi selama proses aerasi dan filtrasi. Hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 1 menunjukkan bahwa kombinasi proses aerasi dan filtrasi secara signifikan dapat menurunkan kadar zat besi dalam air. Pada waktu menit ke-0, sebelum proses aerasi dimulai, kandungan zat besi (Fe) tercatat sebesar 1,15 mg/L, yang menunjukkan bahwa air baku mengandung kadar besi yang cukup tinggi. Kondisi ini menjadi masalah karena kadar besi yang tinggi dapat mempengaruhi kualitas air, baik dari segi rasa, bau, maupun potensi dampak kesehatan.

Namun, setelah dilakukan aerasi selama 45 menit, diikuti dengan proses filtrasi, kadar zat besi menurun menjadi 0,92 mg/L, yang menunjukkan penurunan sebesar 20%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa proses aerasi mulai mengoksidasi ion besi (Fe^{2+}) menjadi bentuk yang lebih tidak larut, Fe^{3+} , sehingga dapat lebih mudah diendapkan. Ketika proses aerasi dilanjutkan hingga 75 menit, diikuti dengan filtrasi, kadar besi menurun drastis menjadi 0,37 mg/L, dengan persentase penurunan sebesar 68%. Penurunan signifikan ini menunjukkan bahwa proses aerasi telah efektif dalam mengubah Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , membentuk partikel padat seperti $Fe(OH)_3$ yang dapat disaring melalui filtrasi. Hasil ini menunjukkan bahwa proses aerasi berperan penting dalam mengoksidasi zat besi terlarut, sementara proses filtrasi setelah aerasi berperan lebih besar dalam menyaring partikel besi yang telah teroksidasi dan mengendap. Dengan demikian, kombinasi kedua proses ini sangat efektif dalam mengurangi kadar zat besi dalam air, yang sangat penting untuk memastikan kualitas air yang layak konsumsi. Keberhasilan proses ini menekankan pentingnya pengolahan air yang efektif dalam mengatasi masalah kandungan logam berat, khususnya zat besi, di sumber air.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Proses kombinasi aerasi-filtrasi terbukti efektif dalam menurunkan kadar zat besi (Fe) dalam air. Penurunan yang terjadi mencapai 0,37 mg/L, atau sekitar 68% setelah proses aerasi selama 75

menit. Ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua proses ini sangat berperan dalam mengurangi kadar besi dalam air yang diolah.

2. Proses aerasi menggunakan aerator venturi menunjukkan hasil yang signifikan dengan debit aliran sebesar $0,000322 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan aliran $2,5495 \text{ m/s}$, dan bilangan Reynolds sebesar $40,5505$ yang menunjukkan aliran laminar. Hal ini mengindikasikan bahwa aerasi dilakukan dalam kondisi aliran yang stabil dan terkontrol. Selain itu, kerugian head yang tercatat sebesar $2,04204$ menunjukkan adanya hilangnya energi dalam proses aerasi, dan nilai koefisien kerugian tercatat sebesar $6,15755$, yang mengindikasikan adanya sejumlah energi yang hilang selama proses tersebut.

Saran

Meskipun hasil penelitian menunjukkan penurunan yang signifikan dalam kadar zat besi (Fe), proses aerasi selama 75 menit masih belum mampu menurunkan kadar besi hingga memenuhi batas yang ditetapkan dalam Permenkes RI No. 32 Tahun 2017. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut guna menentukan waktu aerasi yang optimal, serta mengeksplorasi faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi efektivitas penghilangan zat besi, seperti penggunaan bahan kimia koagulan atau peningkatan efisiensi aerator. Penelitian lanjutan ini sangat penting untuk memastikan bahwa proses pengolahan air bersih dapat memenuhi standar kualitas air yang aman dan layak untuk dikonsumsi oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Andayani, R. D., Malik, A., Nuryanti, S. Z., & Djunaidi, R. (2023). Analisa kerugian head pada berbagai jenis valve terhadap variasi bukaan valve. *TEKNIKA: Jurnal*, 18(1), 12-20. <https://www.teknika-ftiba.info>.
- Andayani, R. D., Nuryanti, S. Z., Asmadi, & Candra, R. (n.d.). Pengaruh jenis lapisan kekasaran permukaan pipa terhadap koefisien gesek. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 5(2), 181–194. Universitas IBA. <https://www.teknika-ftiba.info>.
- Amelia, D. (2018). Analisa kualitas air tanah dangkal (sumur) untuk keperluan air minum di Desa Pematang, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan (Skripsi, Universitas Lampung). Universitas Lampung.
- Elfa Fasira, & Amal, I. (2021). Penerapan aerasi venturi pada tambak dengan menggunakan solar cell (Skripsi, Politeknik Negeri Ujung Padang).
- Fauziah, N. (2011). Pembuatan arang aktif secara langsung dari kulit Acacia mangium wild dengan aktivasi fisika dan aplikasi sebagai adsorben (Skripsi, Institut Pertanian Bogor).
- Hartini, E. (2012). Cascade aerator dan bubble aerator dalam menurunkan kadar mangan air sumur gali. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*.
- Hary Yurdasha. (2019). Rancang bangun alat penjernih air daerah bergambut menjadi air bersih (Skripsi, Universitas Islam Pekanbaru).
- Instalasi Pengolahan Air Minum. (n.d.). Tangerang: PT Tirta Kencana Cahaya Mandiri.
- Kartika, D., et al. (2015). Karakterisasi zeloid mangan komersial dan aplikasi dalam mengadsorpsi ion fosfat.
- Kusnaedi, S. (2010). Mengelola air kotor untuk air minum. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Moersidik, S. (1999). Analisis Kualitas Air. Universitas Terbuka.
- Mustika, I., Indrawati, A., & Warsyi, A. A. (2018). Uji efektivitas biji kelor (*Moringa Oleifera*) terhadap penurunan kadar besi (Fe) air sumur gali di Desa Buhung Bundang, Kecamatan Bontoriro, Kabupaten Bulukumba. *Jurnal Media Laboran*.
- Nasution. (1984). Pencemaran air. Surabaya: Karya Anda.
- Namira, N., & Hidayah, E. N. (2024). Pengaruh perbedaan diameter lubang pada tray aerator terhadap penurunan Fe dan Mn pada air sumur dengan media karbon aktif. *Jurnal Serambi Engineering, Universitas Pembagungan Nasional Veteran Surabaya*.
- Nusa Idaman Said. (2025). Metode penghilangan zat besi dan mangan di dalam penyediaan air minum logistic.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2017). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu air untuk keperluan Higiene dan Sanitasi.
- Ruthven, D. M. (1984). Principles of adsorption and adsorption processes. John Wiley & Sons.
- Wahyuni, A., & Junianto. (2017). Analisa kebutuhan air bersih Kota Batam pada tahun 2025. Batam: Universitas Internasional Batam. *Jurnal*.