

**IMPROVEMENT PENAMBAHAN MANGANESE FILTER PADA
WATER TREATMENT PROCESS PT. X**

Afifa Salsabila¹, Setiyo Gunawan², Ady Setiawan³, Moh Taufik Hidayat⁴

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

E-mail: afifasalsabilaaa1@gmail.com¹, setiyo.gunawan@its.ac.id², pakdeairnew03@gmail.com³,
mohtaufikhidayat94@gmail.com⁴

Abstrak

Air baku atau raw material, yang bersumber dari sungai, danau, maupun sumur, merupakan sumber awal dalam pengolahan air minum. Air minum yang memenuhi standar kesehatan harus memenuhi parameter fisik, mikrobiologi, dan kimiawi. Evaluasi terhadap standar pengolahan air minum perlu dilakukan untuk memastikan prosesnya sesuai standar dan aman dikonsumsi. Proses pengolahan air minum meliputi koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi. Salah satu zat yang sering ditemukan pada air baku, termasuk di PT. X, adalah zat besi (Fe). Zat besi (Fe) merupakan salah satu pencemar utama dalam air baku, yang dapat berbahaya bagi kesehatan jika melebihi batas yang ditetapkan. Untuk mengurangi kadar zat besi, PT. X menerapkan proses Water Treatment Process dengan tambahan manganese filter, bertujuan meningkatkan kualitas air minum. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan air bersih yang aman dan sesuai dengan syarat kualitas air minum yang ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan. Salah satu tahapan dalam pengolahan air minum adalah penambahan manganese filter yang diharapkan dapat mengurangi adanya zat besi (Fe) yang terkandung didalam air baku PT. X. Dengan penelitian ini diharapkan dapat mengetahui hasil keefektifan dari manganese filter dalam menurunkan kandungan zat besi (Fe).

Kata Kunci: Air Baku, Air Minum, Manganese Filter, Penurunan Kadar Zat Besi, Proses Pengolahan Air.

Abstract

Raw water, or raw material, sourced from rivers, lakes, and wells, is the initial source in drinking water treatment. Drinking water that meets health standards must comply with physical, microbiological, and chemical parameters. Evaluation of drinking water treatment standards is necessary to ensure the process meets standards and is safe for consumption. The drinking water treatment process includes coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection. One substance often found in raw water, including at PT. X, is iron (Fe), which can be harmful if it exceeds the limit. To reduce iron levels, PT. X uses a Water treatment process with the addition of a manganese filter. This process aims to produce clean water that is safe and meets the drinking water quality requirements set by the Ministry of Health. One stage in the drinking water treatment is the addition of a manganese filter which is expected to reduce the presence of iron (Fe) contained in the raw water of PT. X. This research is expected to determine the effectiveness of the manganese filter in reducing iron (Fe) content.

Keywords: Manganese Filter, Mineral Water, Raw Water, Reduce Iron Level, Water Treatment Process.

1. PENDAHULUAN

Air baku atau Raw Material merupakan awal dari proses dari pengolahan air minum. Air baku dapat digunakan untuk air minum rumah tangga, yang berasal dari sungai, danau, sumur air dalam, mata air dan bisa juga dibuat dengan cara membendung air buangan atau air laut. Air baku dengan mutu dan standar yang telah ditetapkan dapat menjadi air minum dan dapat diambil dari sumber manapun yang sudah disesuaikan dengan standar kualitas

yang ada (Badan Standardisasi Nasional, 2008).

Air minum adalah air yang dapat dikonsumsi oleh manusia, baik yang telah mengalami proses pengolahan maupun yang tidak, yang telah memenuhi standar kesehatan yang ditetapkan. Air minum memiliki beberapa persyaratan meliputi parameter fisika, mikrobiologi, dan kimiawi. Parameter fisika mencakup aspek seperti kejernihan, warna, rasa, dan bau air. Parameter mikrobiologi memastikan air bebas dari mikroorganisme patogen. Parameter kimiawi mengatur kandungan zat kimia dalam air agar tidak melebihi ambang batas yang ditetapkan yang telah diatur (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2010).

Tahapan pengolahan air yang bertujuan untuk mengubah air baku menjadi air bersih yang memenuhi standar kualitas untuk konsumsi manusia dapat dilakukan dengan cara Water Treatment Process (WTP). Menurut (Setiadi Yudi, 2022) tahapan utama dalam pengolahan air meliputi koagulasi yaitu penambahan bahan kimia (koagulan) untuk mengikat partikel kotoran sehingga membentuk gumpalan (flok), flokulasi yaitu proses pengadukan lambat yang memungkinkan flok-flok kecil bergabung menjadi lebih besar agar mudah diendapkan, sedimentasi yaitu pengendapan flok-flok besar di dasar bak sehingga dapat dipisahkan dari air jernih di atasnya, filtrasi yaitu penyaringan air melalui media filter untuk menghilangkan partikel tersisa dan meningkatkan kejernihan air, dan disinfeksi yaitu pembubuhan disinfektan, seperti klorin, untuk membunuh mikroorganisme patogen yang mungkin masih ada dalam air. Setiap tahapan ini water treatment process berperan penting untuk memastikan bahwa air minum yang dihasilkan layak untuk dikonsumsi. Kefektifan water treatment process sangat bergantung pada kualitas air baku dan desain instalasi pengolahan yang digunakan.

Salah satu pencemar dalam air baku paling tinggi adalah zat besi (Fe). Keberadaan zat besi (Fe) dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan karena bersifat beracun dan tidak dapat terurai secara biologis. Dalam jumlah kecil, zat besi (Fe) berperan sebagai komponen berbagai enzim yang memengaruhi reaksi kimia penting di dalam tubuh. Selain itu, zat besi (Fe) juga merupakan bagian dari hemoglobin yang memungkinkan sel darah merah mengangkut oksigen dan mendistribusikannya ke jaringan tubuh. Kekurangan zat besi (Fe) dapat menyebabkan anemia, sementara kelebihan zat besi (Fe) dapat menyebabkan keracunan, muntah, diare, serta kerusakan pada usus (Khaira Kuntum, 2013). Kadar Zat besi (Fe) yang tinggi (1-2 mg/L) dapat terasa pahit dan berwarna kuning. Sehingga kandungan zat besi (Fe) yang diperbolehkan dalam syarat air minum adalah 0,3 mg/L (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2010). Maka dari itu perlunya ada pengolahan yang lebih lanjut agar air baku dapat menjadi air minum yang memiliki sesuai dengan standar. Pengolahan air baku tersebut dapat dilakukan dengan cara water treatment process (WTP).

Proses water treatment process pada PT. X meliputi tanki penyimpanan air sumur, sand filter, carbon filter, tanki penyimpanan air after filtrasi, Reverses Osmosis, dan UV filter. Oleh karena itu pada proses water treatment process PT. X dilakukan improvisasi untuk melakukan penambahan manganese filter hal ini dikarenakan karena ingin menurunkan kadar zat besi (Fe) yang lebih optimal dari pada proses water treatment process existing.

2. METODE

Pengumpulan Data

1. Data Primer

Data primer diperoleh selama proses penelitian berlangsung dengan mengukur kadar zat besi (Fe) air sebelum dan setelah dilakukannya improvisasi pada manganese filter berdasarkan pengujian menggunakan data laboratorium internal dan eksternal.

Analisis Data

Merupakan tahapan paling akhir dari kegiatan praktik keinsinyuran sebelum

penyusunan laporan. Dalam tahap ini data yang telah didapatkan dari data sebelum improvisasi dan setelah improvisasi akan diolah menjadi informasi-informasi yang diperlukan sehingga dapat menghasilkan kesimpulan data keberhasilan dari improvisasi.

Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan eksperiment dengan tujuan improvisasi water treatment process pada PT.X untuk menguji daya tahan media manganese filter dapat menurunkan kadar zat besi (Fe). Pengolahan data hasil penelitan yang telah didapatkan berupa hasil pemeriksaan laboratorium internal dan eksternal akan diolah agar dapat menentukan perbedaan yang signifikan dalam penurunan kadar zat besi (Fe) berdasarkan hasil pengecekan laboratorium internal dan eksternal pada air tanah sebelum dan sesudah perlakuan, kemudian data diolah dengan cara dibuat tabel yang selanjutnya diolah menjadi data yang dapat mudah dipahami.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil dengan data sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengecekan Nilai Turbidity, TDS dan Besi pada Air Setelah Improvisasi

	Unit	Permenkes No 2 Tahun 2023	Sand Filter	Carbon Filter	RO
Turbidity	NTU	< 3	0,0	0,2	0,0
			0,3	0,0	0,0
			0,5	0,4	0,0
			0,2	0,6	0,0
			0,4	0,3	0,0
			2,2	1,3	0,0
			1,0	1,4	0,0
			0,5	0,4	0,0
			0,4	0,5	0,0
			0,7	0,7	0,0
			0,6	0,9	0,0
			0,9	0,9	0,0
			0,6	0,4	0,0
			1,4	1,2	0,0
TDS	mg/L	< 300	404,5	311,1	10,8
			433,5	217,0	9,7
			408,1	227,1	7,4
			445,9	191,0	7,5
			415,1	192,8	4,8
			419,9	189,9	4,7
			401,2	198,7	5,1
			416,8	228,3	5,1
			434,5	214,0	5,7
			420,8	225,7	4,9
			423,9	229,7	4,9
			428,2	220,2	6,0
			404,5	228,8	5,7
			435,1	217,3	5,7
Kadar Besi	mg/L	$\leq 0,2$	0,2	0,2	0,0
			0,3	0,2	0,0
			0,3	0,2	0,0
			0,3	0,2	0,0
			0,2	0,1	0,0
			0,1	0,2	0,0
			0,2	0,1	0,0
			0,2	0,2	0,0
			0,2	0,2	0,0
			0,2	0,2	0,0
			0,2	0,1	0,0
			0,2	0,1	0,0
			0,2	0,1	0,0
			0,2	0,1	0,0

Pembahasan

Pengujian sampel air after penambahan manganese filter dilakukan untuk mengetahui kandungan besi (Fe) didalam air sudah memenuhi standar Permenkes No. 2 tahun 2023. Berdasarkan Tabel 2.2 parameter wajib air minum dapat diketahui kadar besi maksimal 0,2 mg/L, total dissolve solid maksimal < 300 mg/L, dan kekeruhan (turbidity) maksimal < 3 mg/L.

1. Uji Kualitas Air Baku PT. X

Berdasarkan data pada Tabel 4.2, hasil uji kualitas air sumur di PT. X yang dilakukan oleh laboratorium eksternal menunjukkan bahwa kadar Fe (besi) pada Sumur 1 melebihi ambang batas yang ditetapkan dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu > 0,5 mg/L. Pada Tabel 4.3 pengujian oleh laboratorium internal, yang mencatat kadar Fe sebesar 2,40 mg/L pada sumur yang sama. Sementara itu, untuk parameter Total Dissolved Solids (TDS), baik hasil uji dari laboratorium eksternal pada Tabel 4.2 maupun internal pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa sumur 2, 3, 4, dan 7 memiliki nilai TDS yang melebihi batas maksimum yang diperkenankan, yaitu > 300 mg/L sesuai standar Permenkes No. 2 Tahun 2023. Selain itu, hasil uji kekeruhan (turbidity) pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa sumur 1 dan 2 juga melebihi batas ambang yang ditetapkan, yaitu > 3 NTU. Dengan masih ditemukannya beberapa titik sumur yang tidak memenuhi standar baku mutu, maka dapat disimpulkan bahwa diperlukan tindakan pengolahan air lebih lanjut guna memastikan kualitas air sesuai dengan ketentuan Permenkes No. 2 Tahun 2023.

Tabel 2. Hasil dari Pengecekan Sumur 1-7 oleh Laboratorium Eksternal

Hasil Pengujian Eksternal Sumur PT. X							
No	Parameter	Sumur 1	Sumur 2	Sumur 3	Sumur 4	Sumur 6	Sumur 7
1	Odor	Odorless	Odorless	Odorless	Odorless	Odorless	Odorless
2	Taste	Tasteless	Tasteless	Tasteless	Tasteless	Tasteless	Tasteless
3	Oil Layer	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil
4	Garbage	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil
5	Temperature	30,2	32,3	31,8	31,9	30,7	30,6
6	pH	6,73	7,66	7,48	7,77	7,09	6,75
7	Visual Turbidity	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
8	Turbidity	28,6	3,00	< 0,01	0,82	< 0,01	< 0,01
9	Visual Color	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless
10	Color	5	23	22	19	< 5	< 5
11	Total Dissolved Solids (TDS)	195	4590	2080	3260	206	503
12	Salinity	< 2,0	5,3	2,3	3,7	< 2,0	< 2,0
13	Conductivity	397	9370	4240	6660	445	1027
14	Biological Oxygen Demand (BOD ₅)	< 3	11	10	6	< 3	< 3
15	Hardness (CaCO ₃)	103	234	112	160	114	164
16	Chloride (Cl ⁻)	46,6	4306,7	1922,8	2050,2	15	223,2
17	Fluoride (F ⁻)	0,102	0,177	0,192	0,129	0,072	0,077
18	2-Sulphate (SO ₄ ²⁻)	6,8	14,3	13,8	14	6,8	6,3
19	Total Cyanide	< 0,0024	< 0,0024	< 0,0024	< 0,0024	< 0,0024	< 0,0024
20	Nitrate (NO ₃ -N)	< 0,01	0,201	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
21	Nitrite (NO ₂ -N)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,004	< 0,003	< 0,003
22	Chromium Hexavalent (Cr ⁶⁺)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
23	Total Organic Matter /	< 1	28	20	28	1	3

	Permanganate Number (KMnO ₄)						
24	Phosphate (PO ₄ - P)	0,22	0,23	0,22	0,24	0,23	0,21
25	Pesticide	0,000007	0,000008	< 0,000007	0,000631	0,000069	0,000008
26	Detergent / Surfactant (MBAS)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
27	Total Organic Carbon (TOC) *	<0,1	12	5	8,7	0,5	1,4
28	Chemical Oxygen Demand (COD)	< 10	25	18	12	< 10	< 10
29	Benzene	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
30	Calcium (Ca)	21,3	39,9	21,3	35,1	39,3	21,5
31	Silica (SiO ₂)	110,2	39,57	24,95	32,5	117,26	119,66
32	Dissolved - Iron (Fe)	0,598	0,012	0,025	0,015	< 0,003	0,114
33	Magnesium (Mg)	9,3	10	5,9	8,3	9,8	7,3
34	Dissolved - Manganese (Mn)	0,09	0,059	0,062	0,084	0,065	0,248
35	Sodium (Na)	30,8	1436	658,3	1035	34,7	137,8
36	Dissolved - Cadmium (Cd)	< 0,0005	0,0006	< 0,0005	< 0,0005	0,0006	< 0,0005
37	Dissolved - Mercury (Hg)	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
38	Dissolved - Zinc (Zn)	0,035	0,142	0,106	0,057	0,19	0,03
39	Dissolved - Lead (Pb)	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	0,002
40	Dissolved - Selenium (Se)	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
41	Dissolved - Arsenic (As)	< 0,002	< 0,002	0,003	< 0,002	< 0,002	0,004
42	Total Coliform	96	0	0	116	848	52
43	E.Coli	0	0	0	0	0	0

Tabel 3. Hasil dari Pengecekan Sumur 1-7 oleh Laboratorium Internal

	Unit	Permenkes No 2 Tahun 2023	Sumur 1	Sumur 2	Sumur 3	Sumur 4	Sumur 6	Sumur 7
Turbidity	NTU	< 3	4,58	0,84	0,43	0,33	5,71	9,49
TDS	mg/L	< 300	237,66	6605,00	2641,14	3878,38	263,04	349,75
Kadar Besi	mg/L	≤ 0,2	2,40	0,09	0,09	0,11	3,51	2,71

Sumber : (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.)

a. Nilai Turbidity

Salah satu kualitas air dapat dilihat dari kadar kekeruhan dengan alat turbidity meter dan dalam satuan NTU (nephelometric turbidity units) dengan menggunakan prinsip pada detektor ditempatkan pada sudut 90° terhadap sumber cahaya guna mengukur intensitas cahaya yang terhamburkan (Mukhmudah Nisaul & Notodarmojo Suprihanto, 2010). Nilai turbidity dapat dipengaruhi oleh adanya padatan tersuspensi baik secara organik maupun anorganik atau partikel-partikel kecil yang ada pada air (Rosita, 2014). Pada tabel 1. dan 2. dapat dilihat dari hasil pengecekan sumur 1 hingga 7 terdapat beberapa titik sumur memiliki nilai turbidity lebih dari standar Permenkes No. 2 tahun 2023 yang telah ditetapkan yaitu < 3 NTU (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.).

Pada tabel 1. dan 2. sumur 1, 6, dan 7 pada PT. X menunjukkan kadar turbidity tinggi, yang disebabkan oleh keberadaan partikel tersuspensi dalam air, seperti tanah, pasir, dan lumpur yang terangkat selama proses pengeboran. Namun dapat dilihat pada tabel 1. dan 2. sumur 2, 3, dan 4 memiliki kadar turbidity yang relative lebih rendah daripada standar Permenkes No. 2 tahun 2023 karena minimnya partikel yang tersuspensi didalam air lebih sedikit dibandingkan dengan sumur 1, 6, dan 7 pada PT. X. Selain itu, tingginya nilai turbidity juga dipengaruhi oleh kandungan logam seperti besi (Fe³⁺) dan mangan (Mn²⁺)

dalam air. Peningkatan turbidity juga dapat terjadi pada saat musim penghujan, karena tingginya potensi masuknya tanah dan pasir ke dalam jalur sumur bor akibat peningkatan aliran permukaan dan infiltrasi (Pramesti & Puspikawati, 2020).

b. Nilai Total Dissolved Solid (TDS)

TDS adalah ukuran konsentrasi semua zat padat terlarut dalam air, baik yang berasal dari bahan organik maupun anorganik. Nilai TDS pada air dapat dipengaruhi oleh konsentrasi zat terlarut terionisasi dalam cairan yang berbanding lurus dengan konduktivitas listrik larutan dan juga dipengaruhi oleh suhu (Zamora et al., 2015). Nilai TDS dapat menggunakan alat TDS meter yang dilengkapi dengan pembacaan menggunakan system sensor probe. TDS meter memiliki prinsip konduktivitas listrik yaitu semakin tinggi ion didalam air, maka semakin besar nilai TDS (Wowor et al., 2023). Nilai TDS pada air minum memiliki batasan maksimal yaitu menurut WHO (World Health Organization) kadar $\text{TDS} < 300 \text{ mg/L}$, hal ini sama dengan standar yang ditetapkan oleh Permenkes No. 2 Tahun 2023 kadar maksimal $\text{TDS} < 300 \text{ mg/L}$ (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.).

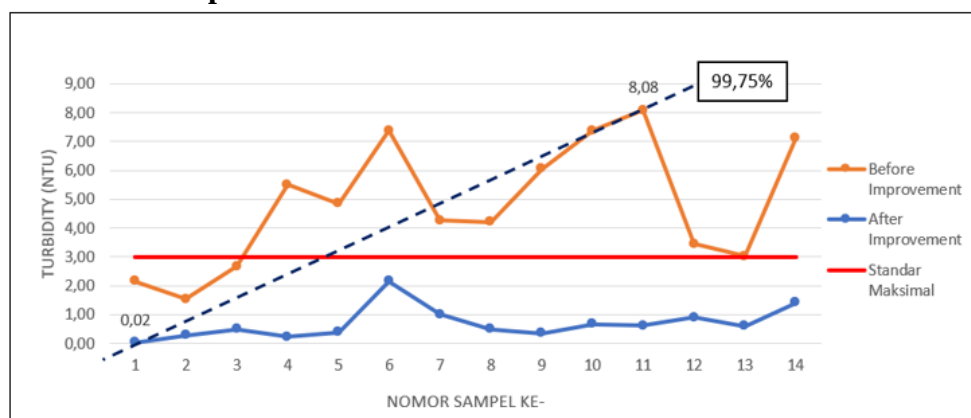
Dapat dilihat dari Tabel 1. dan 2. bahwa nilai TDS dari sumur 2, 3, dan 4 sangatlah tinggi yaitu lebih dari standar Permenkes No. 2 tahun 2023 yaitu $> 300 \text{ mg/L}$, hal ini dapat dipengaruhi oleh banyaknya senyawa organik, anorganik, endapan, bahan padat lainnya yang terlarut seperti rembesan air permukaan yang terkontaminasi lumpur yang kaya garam dan air yang berada di daerah lahan basah (Untari, 2022). Sedangkan dapat dilihat pada tabel 1. dan 2. sumur 1, 6 dan 7 memiliki nilai $\text{TDS} < 300 \text{ mg/L}$ dimana hal ini memenuhi standar Permenkes No. 2 tahun 2023. Sumur 1, 6 dan 7 memiliki nilai TDS yang rendah karena berada di lahan yang tidak basah sehingga kandungan TDSnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan sumur 2, 3, dan 4. Maka dari itu perlu adanya pengolahan air lebih lanjut dengan menggunakan sistem Reverse Osmosis (RO) agar dapat menyaring atau memfilter air dari kandungan logam dan mikroba.

c. Nilai Kadar Besi (Fe)

Kadar besi (Fe) dalam air dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, yaitu terlarut sebagai Fe^{2+} dan Fe^{3+} , tersuspensi sebagai koloid, atau terikat pada zat organik maupun anorganik, dan secara alami berasal dari tanah serta bebatuan yang tererosi. Konsentrasi besi yang melebihi batas dapat menyebabkan masalah seperti bau dan rasa pahit pada air (Qadri Rasyid & Rifo Rianto, n.d.). Fe dapat dianalisa melalui alat spektrometer yang dapat membantu dalam analisis sampel kimia. Metode spektrometer adalah zat dalam suatu sampel akan dilihat spektrum cahayanya, Secara umum, alat ini bekerja dengan menguraikan cahaya putih menjadi spektrum warna (dispersi cahaya) menggunakan prisma atau grating (kisi difraksi), kemudian mengukur panjang gelombang dan intensitas dari setiap warna yang dihasilkan (Warono, n.d.).

Berdasarkan tabel 1. dan 2. kadar Fe pada sumur 1, 6, dan 7 menunjukkan nilai yang melebihi batas maksimum menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu $0,2 \text{ mg/L}$ (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingginya kandungan mineral besi di lapisan geologi tempat air sumur tersebut berada. Selain itu, kedalaman pengeboran juga dapat memengaruhi kadar Fe dalam air. Secara umum, sumur yang lebih dalam cenderung memiliki kadar Fe yang lebih rendah, terutama jika airnya berasal dari akuifer di lapisan batuan keras yang relatif stabil dan teroksidasi. Namun ada beberapa air dari sumur dalam justru bisa mengandung lebih banyak besi karena kurangnya oksigen didalamnya sehingga oksigen akan mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} . Warna air dari sumur 1, 6, dan 7 yang cenderung kekuningan juga mengindikasikan tingginya kandungan besi dibandingkan sumur lain seperti sumur 2, 3, dan 4.

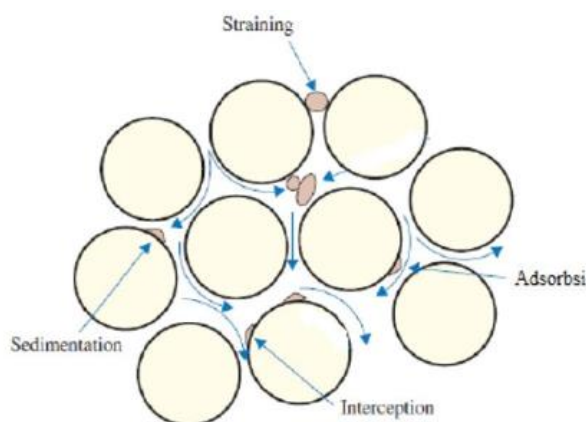
Uji Kualitas Air Baku pada Sand Filter



Gambar 1. Grafik Nilai Turbidity Sand Filter

a. Nilai Turbidity

Sand filter adalah sistem penyaringan air berbasis media pasir yang bekerja melalui mekanisme fisik dapat dilihat pada gambar 4.1 yaitu proses interception, sedimentasi dan filtrasi dalam (depth filtration) untuk menghilangkan partikel tersuspensi dan mengurangi kekeruhan air (Nkwonta & Ochieng, 2009). Media penyaringnya sand filter pada PT. X terdiri dari fine sand size 0,5 – 0,8 mm, coarse sand size 0,8 – 1,2 mm, dan silica sand 1,2 – 4 mm.



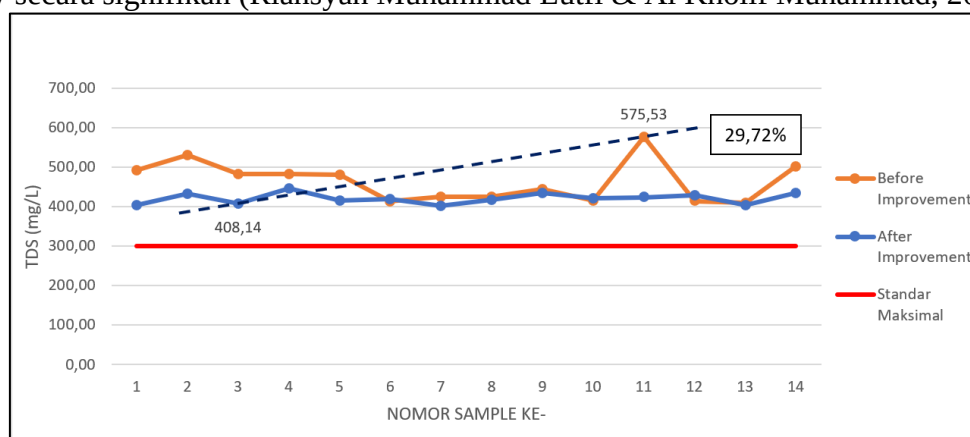
Gambar 2. Ilustrasi Proses Mekanisme Filtrasi (McCabe Warren L. et al., 1993)

Dari gambar 1. dapat dilihat bahwa garis putus-putus pada grafik nilai turbidity sand filter after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 99,75% yaitu dari 8,08 NTU menjadi 0,02 NTU. Nilai turbidity after improvement ini sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu < 3 NTU (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.). Pada hasil before improvement nilai tertinggi turbidity yaitu 8,08 NTU hal ini dapat disebabkan oleh banyaknya partikel halus yang terkandung didalam air, baik secara organik seperti mikroorganisme, plankton, lumut, dan secara anorganik seperti lumpur dan pasir. (Ariesta et al., n.d.).

Supply raw water atau penggunaan sumur tertentu dapat memengaruhi peningkatan nilai kekeruhan (turbidity) pada sand filter (Putra Tri Syukria et al., 2024). Sebagai contoh, pada titik ke-11 sebelum dilakukan perbaikan (before improvement), sumur 3 dan 4 yang diaktifkan memiliki nilai turbidity masing-masing sebesar 2614 NTU dan 3878 NTU, jauh melebihi ambang batas standar Permenkes yaitu < 3 NTU, sehingga menghasilkan kualitas air dengan tingkat kekeruhan yang sangat tinggi.

Namun demikian, sand filter tidak mampu secara optimal menurunkan turbidity dari air sumur dengan kadar kekeruhan tinggi tersebut, sehingga nilai turbidity saat pengambilan

sampel tetap berada di atas ambang batas standar yang telah ditetapkan. Penambahan manganese filter dalam sistem pengolahan after improvement terbukti menurunkan nilai turbidity secara signifikan menjadi 0,02 NTU. Manganese filter merupakan media filtrasi berbasis pasir silika yang telah dilapisi senyawa aktif seperti manganese dioksida (MnO_2), yang berfungsi mengoksidasi ion logam terlarut seperti Fe^{2+} dan Mn^{2+} menjadi bentuk tidak terlarut, sehingga memungkinkan untuk ditangkap oleh media filtrasi (Rasmito Agung et al., n.d.). Dengan demikian, kombinasi manganese filter dan sand filter meningkatkan efisiensi penghilangan logam terlarut dan partikel penyebab kekeruhan, sehingga menurunkan nilai turbidity secara signifikan (Riansyah Muhammad Lutfi & Al Kholif Muhammad, 2021)

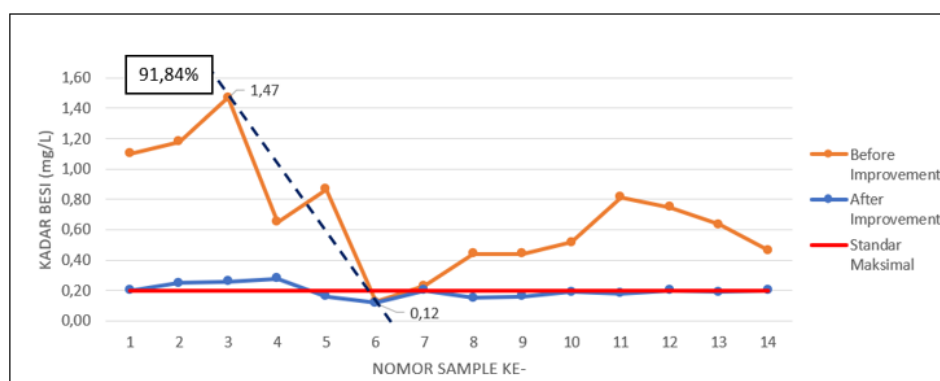


Gambar 3. Grafik Nilai Total Dissolved Solid Sand Filter

b. Nilai Total Dissolved Solid (TDS)

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa garis putus-putus pada grafik nilai TDS sand filter after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 29,72% yaitu dari 575,53 mg/L menjadi 408,14 mg/L. Hasil pengujian untuk nilai TDS mendapatkan belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu < 300 mg/L (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.). Namun nilai TDS before improvement lebih tinggi dibandingkan dengan after improvement, hal ini dikarenakan partikel terlarut yang terdiri dari senyawa organik maupun anorganik yang terkandung lebih banyak dan tidak dapat terfiltrasi secara maksimal.

Pada prinsipnya, sand filter tidak efektif dalam menurunkan kadar Total Dissolved Solid (TDS) karena TDS terdiri dari ion dan molekul yang telah larut dalam air, seperti garam, mineral, dan logam-logam terlarut (Nur Febrianti & Budhiyanti Tribhuwaneswari, 2024). Sedangkan sand filter beroperasi secara fisik melalui mekanisme penyaringan partikel tersuspensi seperti lumpur, pasir halus, dan kotoran lainnya, namun tidak mampu menahan partikel terlarut yang berukuran sangat kecil (mikromolekul atau ion), sehingga sebagian besar partikel TDS tetap lolos dari media filtrasi sand filter. Dengan penambahan manganese filter dapat membantu mengurangi sebagian kecil TDS yang berasal dari ion logam terlarut seperti Fe^{2+} dan Mn^{2+} melalui proses oksidasi dan presipitasi. Namun, untuk penurunan TDS yang lebih signifikan, media adsorpsi seperti karbon aktif dan teknologi reverse osmosis (RO) lebih efektif, karena mampu menghilangkan senyawa organik dan ion logam secara lebih selektif (Thirunavukkarasu O. S et al., 2014).



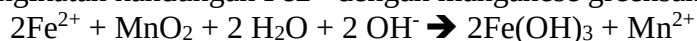
Gambar 4. Grafik Nilai Kadar Besi Sand Filter

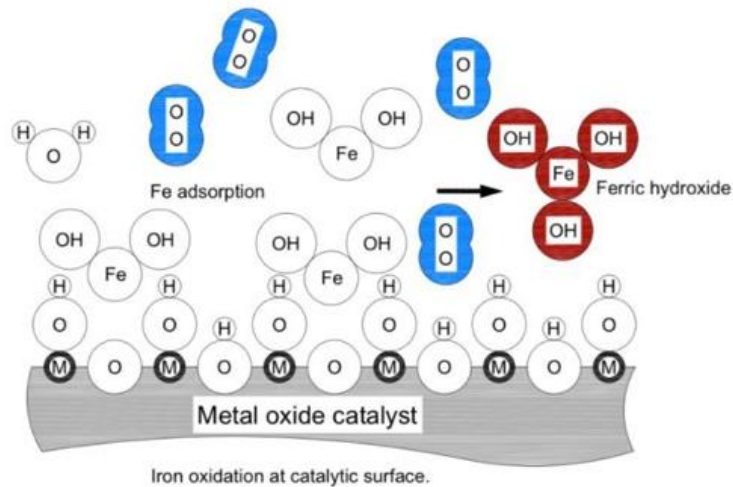
c. Nilai Kadar Besi (Fe)

Sebelum air supply ke sand filter, terdapat penambahan klorin pada tangki penampungan 1. Klorin dapat bertujuan sebagai disinfektan didalam air untuk menghilangkan mikroorganisme yang berada didalam air, selain itu klorin dapat menjadi oksidator yang cukup cepat untuk mengikat Fe. Klorin dapat diperoleh dari gas klorin (Cl_2) maupun dari garam-garam seperti natrium hipoklorit (NaOCl) dan kalsium hipoklorit $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. Dalam air yang mengandung amonia (NH_3), baik dalam bentuk anorganik maupun senyawa organik amina, klorin dapat bereaksi membentuk kloramin. Senyawa kloramin ini termasuk dalam kategori residu klorin yang bersifat reaktif dan dapat berperan dalam pengikatan ion besi (Fe^{2+}). Menurut (El-Sheikh et al., 2016) penggunaan klorin dapat efektif digunakan jika Ph didalam air > 9 atau lebih tinggi, maka dari itu perlu adanya aerasi yang di kombinasikan dengan klorin agar pembentukan Fe^{3+} lebih maksimal. Menurut (Azzahrah Faradillah & Susilawaty Andi, 2014) dalam beberapa kasus, pengguna cenderung menambahkan dosis kaporit lebih tinggi dengan harapan dapat meningkatkan efektivitas proses oksidasi dan desinfeksi Selain itu pengaruh klorin terhadap kadar besi didalam air adalah peningkatan efisiensi filtrasi dan membantu dalam mengikat Fe^{2+} menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Reaksi oksidasi antara besi dengan klorin (Said Nusa Idaman, 2005) : $2 \text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2 \text{Cl}^- + 6 \text{H}^+$

Mereduksi besi dan mangan dengan manganese greensand tidak sama dengan proses pertukaran ion tapi mengoksidasi dari Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , yang kemudian membentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Sehingga pada saat Fe berubah menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ akan mempermudah dalam pengendapan dan penyaringan (Said Nusa Idaman, 2005). Reaksi yang terjadi dalam pengikatan kandungan Fe^{2+} dengan manganese greensand:





Gambar 5. Proses oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} menggunakan manganese filter

Dari gambar 5. dapat dilihat bahwa garis putus-putus pada grafik nilai kadar Fe sand filter after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 91,84% yaitu dari 1,47 mg/L menjadi 0,12 mg/L. Nilai kadar besi (Fe) after improvement ini sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu < 2 mg/L, namun pada data 1-4 terdapat nilai yang melebihi standar hal ini dikarenakan manganese belum aktif secara sempurna dalam penyerapan ion-ion terlarut seperti Fe dan Mn (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.).

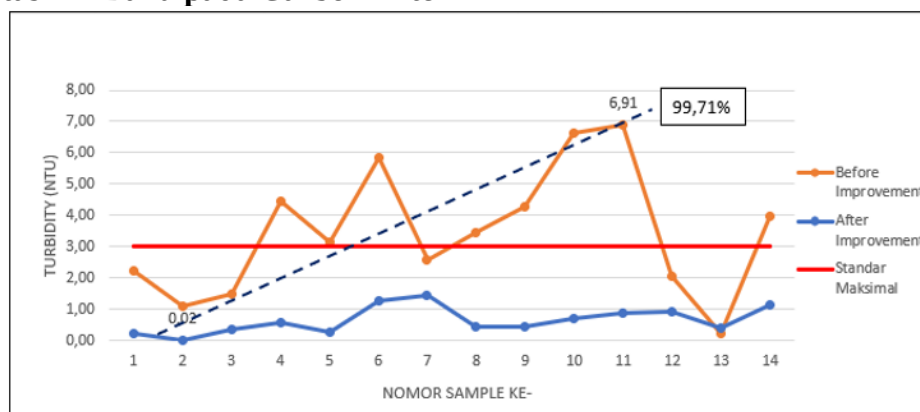
Menurut (Maharani Oesman & Sugito, n.d.) manganese filter dapat mereduksi kadar Fe dalam air sebesar 78,53% sedangkan Mn 88,21% didalam air. Hal ini karena karakteristik atomik dari unsur besi (Fe) dan mangan (Mn), di mana keduanya termasuk dalam unsur transisi dan berada pada periode ke-4 dalam tabel periodik. Nomor atom Fe adalah 26, sedangkan Mn adalah 25. Secara periodik, dalam satu periode dari kiri ke kanan, jari-jari atom cenderung mengecil karena peningkatan muatan inti efektif. Oleh karena itu, ukuran atom Fe sedikit lebih kecil dibandingkan Mn, yang dapat memengaruhi perilakunya dalam media filtrasi. Ukuran atom Fe yang lebih kecil berpotensi menyebabkan endapan senyawa besi tidak mudah tersaring pada sistem filtrasi.

Menurut (Rahmawati N & Sugito, 2015) penggunaan filtrasi zeolite dan manganese filter dapat mereduksi kadar Fe sebesar 94%. Hal ini disebabkan karena menggunakan teknologi kombinasi antara proses filtrasi dan resin penukar ion, yang meskipun efektif, memerlukan biaya operasional yang relatif tinggi. Namun juga dapat menggunakan pendekatan teknologi filtrasi saja yang lebih ekonomis jika konsentrasi Fe dan Mn dalam air tidak terlalu tinggi, maka proses filtrasi tunggal sebagaimana diterapkan dalam penelitian ini sudah cukup efektif untuk menurunkan kadar logam tersebut hingga memenuhi standar kualitas air.

Pada tabel 4. dapat dilihat kondisi before improvement, kadar besi terukur mencapai 1,47 mg/L, yang melebihi ambang batas yang ditetapkan. Nilai Fe yang tinggi ini dikarenakan media filter sand tidak dapat efektif dalam menghilangkan ion Fe^{2+} , mengingat Fe^{2+} berada dalam bentuk terlarut dan tidak dapat disaring secara fisik (Medi Wilian et al., 2019). Hal ini sejalan dengan fungsi utama sand filter yang hanya dirancang untuk menghilangkan partikel tersuspensi, seperti lumpur, tanah, alga, pasir, dan material organik seperti daun dan akar (Ardiansah et al., 2023). Oleh karena itu, dilakukan penambahan manganese filter dalam sistem. Berdasarkan data pada gambar 4.4, setelah after improvement, kadar besi menurun drastis menjadi 0,12 mg/L. Penurunan ini disebabkan oleh mekanisme adsorpsi, filtrasi, dan sedimentasi yang terjadi dalam satu unit filtrasi berlapis, yang terdiri atas manganese filter, pasir halus (fine sand), pasir kasar (coarse sand), dan pasir

silika (silica sand). Dalam proses ini, manganese filter berperan penting melalui dua mekanisme utama yaitu adsorpsi dan oksidasi, di mana ion Fe^{2+} dan Mn^{2+} menempel pada permukaan MnO_2 dan diubah menjadi bentuk oksidanya, dan intersepsi, yaitu penahanan ion yang telah teradsorpsi dalam media manganese filter (Kang et al., 2022). Sementara itu, lapisan sand filter bekerja menyaring partikel logam yang telah teroksidasi menjadi bentuk tidak terlarut, sehingga lebih mudah mengendap melalui mekanisme sedimentasi (Medi Wilian et al., 2019). Selain mereduksi kandungan Fe dalam air, penambahan manganese filter dapat efektif dalam membantu mereduksi kandungan mangan didalam air. Karena manganese filter dapat jenuh maka perlu adanya regenerasi dengan cara backwash. Backwash merupakan air yang dialirkan dengan tekanan dari jalur outlet melalui media untuk membersihkan kotoran yang terakumulasi sehingga kapasitas oksidasi manganese filter akan aktif kembali dan bersih dari endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Sommerfeld, n.d.).

Uji Kualitas Air Baku pada Carbon Filter

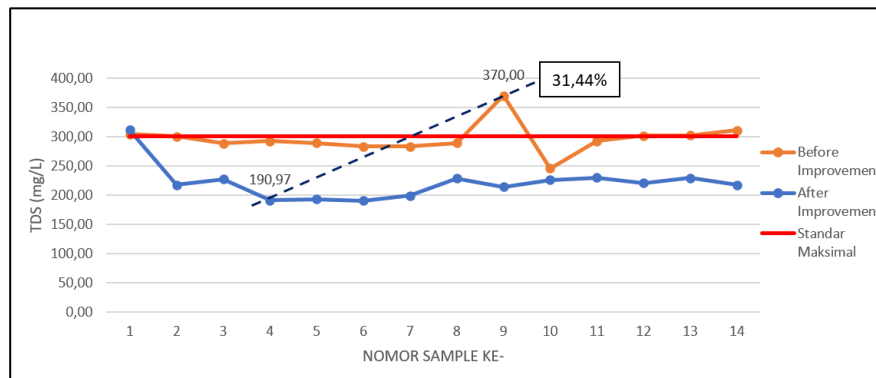


Gambar 6. Grafik Nilai Turbidity Carbon Filter

a. Nilai Turbidity

Karbon aktif (atau activated carbon) adalah bahan penyerap (adsorben) yang sangat efektif digunakan untuk menghilangkan zat-zat organik, bau, rasa, dan beberapa logam berat dari air atau udara (Said Nusa Idaman, 2005). Selain itu karbon aktif dapat melakukan pengikat unsur besi (Fe), Mangan (Mn), sulfida dalam air. Bahan karbon tinggi dapat berasal dari seperti batok kelapa, kayu, batu bara, atau gambut, melalui proses aktivasi fisik atau kimia sehingga memiliki luas permukaan yang sangat besar (Munfiah Siti, 2017). Proses pengolahan air menggunakan carbon filter merupakan proses adsorpsi, yaitu penyerapan molekul-molekul adsorbate (molekul pengotor) pada permukaan pori karbon dengan adanya gaya tarik menarik antar molekul karbon aktif dengan molekul adsorbate. Semakin luas permukaan karbon, semakin banyak zat yang bisa ditangkap (Said Nusa Idaman, 2007).

Dari gambar 6. dapat dilihat bahwa garis putus-putus pada grafik nilai turbidity carbon filter after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 99,71% yaitu dari 6,91 NTU menjadi 0,02 NTU. Hasil pengujian untuk nilai turbidity mendapatkan hasil sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Permenkes No. 2 Tahun 2023 yaitu < 3 NTU (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.). Namun nilai turbidity before improvement lebih tinggi yaitu 6,91 NTU dibandingkan dengan after improvement, hal ini dikarenakan partikel terlarut belum tersaring sempurna pada sand filter. Karena partikel terlarut tidak dapat tersaring pada sand filter, menyebabkan carbon filter tidak dapat maksimal menyerap partikel terlarut tersebut dan membuat carbon filter lebih sering ngeblock. Nilai turbidity after improvement berada di nilai 0,02 NTU, dimana sudah sesuai dengan standar. Hal ini dikarenakan partikel yang terlarut sudah dirubah menjadi tidak terlarut oleh manganese filter dan tersaring oleh sand filter, sehingga kerja carbon filter dapat maksimal dalam menyerap sisa-sisa partikel yang belum terserap pada sand filter (Riansyah Muhammad Lutfi & Al Kholif Muhammad, 2021).



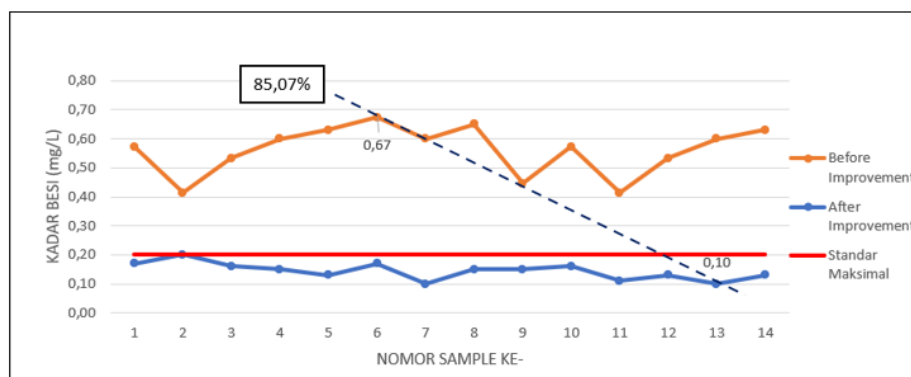
Gambar 7. Grafik Nilai Total Dissolved Solid (TDS) Carbon Filter

b. Nilai Total Dissolved Solid (TDS)

Menurut (Wowor et al., 2023) karbon aktif memiliki sifat adsorben dimana dapat mengikat partikel-partikel zat organik yang sulit terlarut didalam air. Maka dari itu carbon aktif seringkali diletakkan setelah sand filter, hal ini dilakukan untuk memaksimalkan penyerapan partikel pengotor yang belum tersaring didalam air dan membantu reverse osmosis dalam melakukan filtrasi air tersebut. Selain itu ketebalan media filter dapat mempengaruhi kualitas penyerapan partikel pengotor yang ada di air, semakin tebal maka proses penyaringan akan semakin baik. Penempatan carbon aktif berada di sebelum reverse osmosis ini diharapkan dapat membantu dalam penyerapan zat organik dan partikel yang terlarut lebih maksimal (Munfiah Siti, 2017).

Dari gambar 7. dapat dilihat bahwa garis putus-putus pada grafik nilai TDS carbon filter after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 31,44% yaitu dari 370 mg/L menjadi 190,97 mg/L. Hasil pengujian untuk nilai TDS mendapatkan hasil sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu < 300 mg/L (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia 2 Tahun 2023, n.d.).

Pada gambar 4.7 nilai TDS before improvement sebesar 370 mg/L, yang disebabkan oleh ketidakmampuan carbon filter dalam mengadsorpsi partikel pengotor secara optimal, baik dalam bentuk partikel tersuspensi maupun senyawa organik terlarut. Hal ini terjadi karena sand filter hanya efektif dalam menyaring partikel tersuspensi, sehingga beban pengotor yang tinggi tetap masuk ke carbon filter dan mengurangi efisiensi adsorpsinya. Setelah after improvement, nilai TDS menurun menjadi 190,97 mg/L, atau lebih rendah 31,44% dibandingkan sebelumnya. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan manganese filter dan optimalisasi sand filter, yang secara sinergis mampu menghilangkan lebih banyak kontaminan sebelum mencapai karbon aktif. Dengan demikian, carbon filter dapat bekerja lebih efektif dalam mengadsorpsi sisa zat organik dan ion terlarut, menghasilkan kualitas air yang lebih baik.



Gambar 8. Grafik Nilai Kadar Besi Carbon Filter

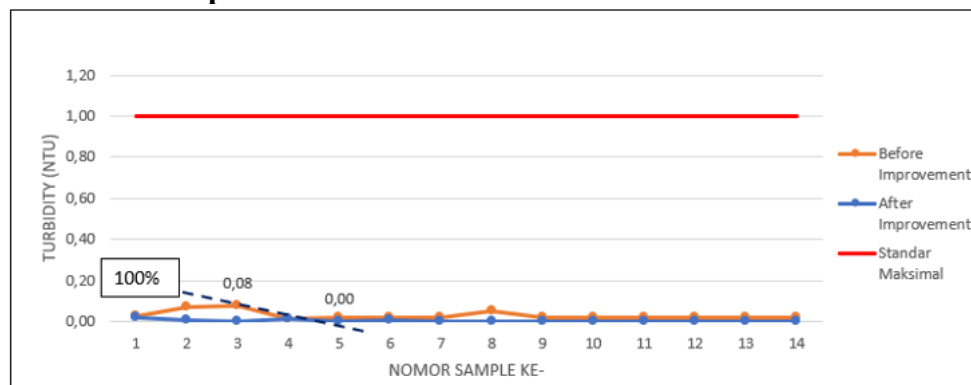
c. Nilai Kadar Besi

Reduce logam besi (Fe) dalam air merupakan aspek penting dalam pengolahan air bersih, karena keberadaan Fe dalam konsentrasi tinggi dapat menurunkan kualitas fisik dan kimia air serta berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Salah satu metode yang terbukti efektif dan banyak diterapkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah proses adsorpsi menggunakan carbon active, yang memiliki luas permukaan besar dan kapasitas adsorpsi tinggi terhadap ion logam (Babel & Agustiono Kurniawan, 2003)

Dari gambar 8. dapat dilihat bahwa garis putus-putus pada grafik nilai Fecarbon filter after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 85,07% yaitu dari 0,67 mg/L menjadi 0,10 mg/L. Nilai kadar besi (Fe) after improvement ini sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu < 2 mg/L.

Dapat dilihat pada gambar 8. nilai kadar besi before improvement 0,67 mg/L, dimana nilai ini berada diatas standar permenkes yang telah ditentukan. Hal ini disebabkan oleh aktivitas adsorpsi pada carbon filter bergantung pada luas permukaan dan jumlah gugus fungsional di permukaan karbon. Permukaan yang kurang teroksidasi atau memiliki sedikit gugus karboksilat/hidroksil mengurangi kemampuan mengikat Fe^{3+} secara efektif (Nugroho et al., 2022). Maka dari itu Fe^{2+} harus terlebih dahulu dioksidasi menjadi Fe^{3+} dan mengendap sebagai $\text{Fe}(\text{OH})_3$ agar bisa tersaring pada sand filter, sehingga tidak akan terjadi pembentukan lapisan oksida Fe pada pori-pori carbon menjadi tertutup (pore blocking), yang secara terus menerus menurunkan kapasitas adsorpsi (Thinojah & Ketheesan, 2022). Dapat dilihat pada gambar 8. nilai kadar besi after improvement 0,10 mg/L, dimana nilai ini sesuai dengan standar permenkes yang telah ditentukan. Hal ini disebabkan oleh manganese filter dan sand filter secara maksimal merubah Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dan mengendap menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sehingga mempermudah proses adsorpsi Fe yang belum tersaring pada carbon filter.

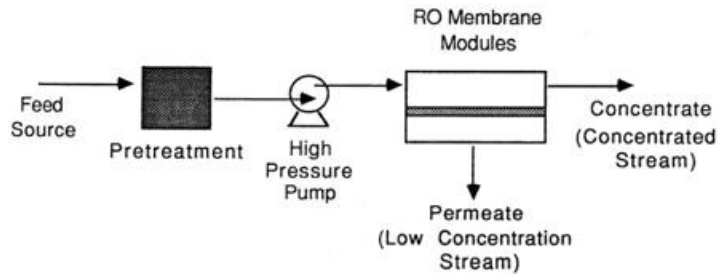
Uji Kualitas Air Baku pada Reverse Osmosis



Gambar 9. Nilai Turbidity Reverse Osmosis (RO)

a. Nilai Turbidity

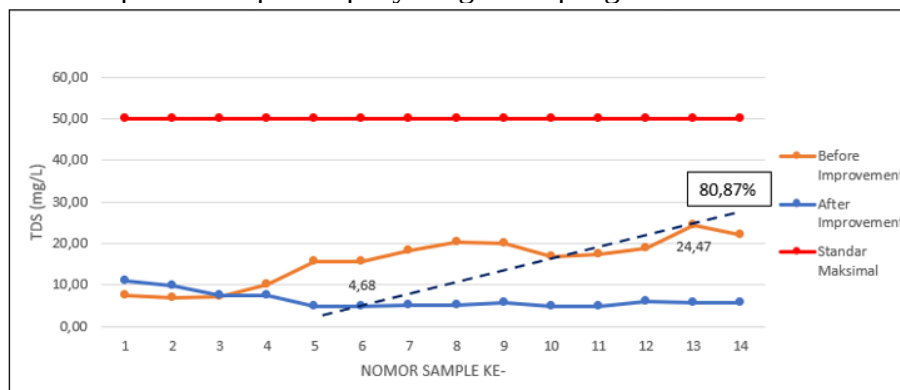
Reverse osmosis (RO) adalah suatu proses pemurnian air yang menggunakan tekanan hidrostatik yang lebih besar dari tekanan osmotik larutan, sehingga memungkinkan pelarut (air) untuk melewati membran semi-permeabel dan memisahkan diri dari zat terlarutnya. Proses ini menghasilkan dua aliran: air permeat dengan konsentrasi zat terlarut yang rendah, dan air reject (konsentrat) dengan konsentrasi zat terlarut yang tinggi (Ariyanti D & Widiassa I. N, 2011). RO memiliki prinsip yaitu memisahkan air dari komponen-komponen yang tidak diinginkan sehingga mendapatkan air dengan kemurnian yang tinggi (Williams, 2003). Pada PT. X menggunakan Reverse osmosis dengan ukuran pori membrane 0,0001 mikron. Sehingga dengan adanya improvement manganese filter dapat mengurangi partikel pengotor yang dapat membuat RO mudah untuk blocking.



Gambar 10. Sistem Proses Reverse Osmosis (Williams, 2003).

Dari gambar 10. dapat dilihat bahwa garis putus-putus pada grafik nilai turbidity RO after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 100% yaitu dari 0,08 NTU menjadi 0 NTU. Nilai turbidity after dan before improvement ini sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu < 1 NTU. Pada kondisi before improvement, nilai turbidity telah berada dalam rentang standar yang ditetapkan, dengan penurunan dari 6,91 NTU setelah sand filter menjadi 0,08 NTU pada keluaran RO, yang menunjukkan bahwa sistem Reverse Osmosis (RO) mampu menurunkan kekeruhan secara signifikan.

Namun demikian, nilai partikel pengotor yang masih tinggi sebelum memasuki unit RO menyebabkan kerja RO menjadi lebih berat, yang berpotensi menimbulkan sejumlah dampak negatif. Di antaranya adalah penurunan laju permeat, peningkatan frekuensi pembersihan membran (CIP) akibat penyumbatan membran (membrane fouling), serta penurunan efisiensi proses filtrasi secara keseluruhan. Kondisi ini juga dapat mengakibatkan kenaikan konsumsi energi, karena sistem harus bekerja pada tekanan lebih tinggi untuk mempertahankan aliran air melalui membran (Bergman, 2007). Maka dari itu dibutuhkan proses pretreatment yang efisien seperti penambahan manganese filter untuk mereduksi Fe, sehingga akan mempermudah proses penyaringan zat pengotor didalam RO.



Gambar 11. Grafik Nilai Total Dissolved Solid (TDS)

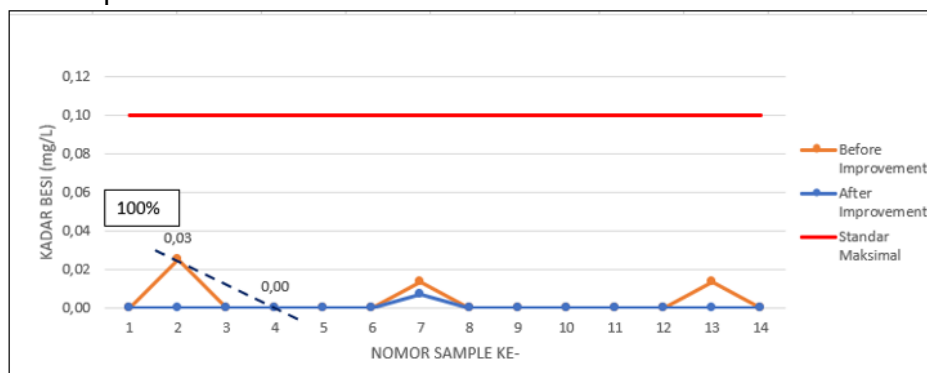
b. Nilai Total Dissolved Solid (TDS)

Nilai TDS dapat direduce dengan menggunakan beberapa metode yaitu physical separation, reverse osmosis (RO), distilasi, elektroagulasi. Beberapa metode pengolahan air diketahui memiliki efisiensi tinggi dalam menurunkan TDS, namun memerlukan biaya operasional yang besar. Seperti proses distilasi mampu menghasilkan air dengan konduktivitas sangat rendah, tetapi konsumsi energi yang tinggi menjadi kendala utama dalam aplikasinya. Sementara itu, metode adsorpsi biologis dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan untuk menghindari penggunaan bahan kimia, namun efektivitasnya sangat bergantung pada stabilitas dan aktivitas mikroorganisme yang digunakan. Oleh karena itu, sistem yang paling efisien, yaitu dengan mengombinasikan penggunaan material adsorben dan RO untuk mencapai efisiensi penurunan TDS yang optimal dengan biaya dan dampak lingkungan yang lebih rendah. (Pinto Patricio X et al., n.d.).

Menurut (Herawati Netty et al., 2023) pengurangan Total Dissolved Solids (TDS) secara optimum sebesar 74,58% dicapai menggunakan adsorben keramik A yang tersusun dari 70% Rice Husk Charcoal (RCC) dan 30% tanah liat, dengan diameter partikel 10 mm, waktu kontak selama 45 menit, dan laju alir 8 L/menit. Sementara itu, efisiensi pengurangan TDS meningkat menjadi 90,73% saat menggunakan kombinasi adsorben keramik dan sistem Reverse Osmosis (RO), di mana adsorben yang digunakan adalah keramik tipe C dengan komposisi material dan ukuran yang sama, yaitu 70% RCC, 30% tanah liat, dan diameter 10 mm. Sehingga RO dapat membantu kinerja adsorben keramik dalam memreduce TDS dalam air dibandingkan hanya menggunakan adsorben keramik.

Reverse osmosis (RO) merupakan teknologi pemisahan berbasis membran yang digunakan untuk menghilangkan berbagai kontaminan, termasuk total dissolved solids (TDS) dan logam berat, baik dari air bersih maupun air limbah karena dapat menyaring zat pengotor hingga 0,0001 mikron. Proses penurunan TDS menggunakan membran RO memiliki sejumlah keunggulan, seperti tidak memerlukan penggunaan bahan kimia tambahan, kebutuhan energi yang relatif rendah, serta kemampuan untuk menghasilkan air permeat dengan kualitas tinggi. Namun demikian, sistem RO memiliki keterbatasan, terutama dalam hal kerentanannya terhadap fouling, yang disebabkan oleh keberadaan padatan terlarut dan tersuspensi dalam air baku (Saja S et al., 2020).

Dari gambar 11. dapat dilihat garis putus-putus pada grafik nilai TDS RO after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 80,87% yaitu dari 24,47 mg/L menjadi 4,68 mg/L. Hasil pengujian untuk nilai TDS mendapatkan hasil sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan yaitu < 50 mg/L. Nilai TDS pada before improvement masih tinggi hal ini dikarenakan terdapat partikel terlarut yang tidak terfiltrasi secara maksimal pada carbon filter. Sedangkan pada tabel 4.10 data 1 hingga 3 nilai TDS masih cenderung tinggi dikarenakan manganese filter belum bekerja maksimal dan masih memerlukan backwash. Nilai TDS after improvement sebesar 4,68 mg/L, hal ini dikarenakan RO dapat bekerja maksimal dimana keluaran nilai TDS after carbon filter sudah relative rendah yaitu 190,97 mg/L sehingga kinerja RO akan lebih mudah dalam memisahkan sisa partikel terlarut didalam air.



Gambar 12. Nilai Kadar Besi Reverse Osmosis (RO)

c. Nilai Kadar Besi

Menurut (Julyane & Irma Rahmawati, 2024) mengatakan bahwa proses RO dapat efektif menghilangkan 98% padatan terlarut didalam air, jika dibandingkan dengan metode distilasi yang dapat mengurangi kadar TDS dalam air. Selain padatan terlarut RO dapat mereduksi zat terlarut, klorin, fluoride, Fe, mikroorganisme, rasa, dan bau (Dirisu et al., 2019).

Salah satu zat pengotor yang berlebih pada PT. X adalah Fe atau kadar besi. Nilai Fe yang tinggi pada air dapat berdampak negatif pada kinerja sistem RO yaitu, blocking pada membrane. Hal ini dikarenakan Fe yang masih berbentuk Fe^{2+} dapat teroksidasi menjadi Fe^{3+} saat kontak dengan oksigen, Fe^{3+} akan membentuk endapan hidroksida besi

(Fe(OH)₃) yang menempel dipermukaan membrane RO sehingga menyebabkan blocking. Dari blocking membrane RO ini menyebabkan peningkatan frekuensi Cleaning In Place (CIP), penurunan umur membrane, perubahan kualitas permeate (Bergman, 2007). Sehingga diperlukan proses pretreatment filtrasi manganese filter, sedimentasi, dan filtrasi (Kang et al., 2022).

Menurut (Hafiz et al., 2020), proses filtrasi menggunakan sand filter dan mikrofiltrasi sebagai tahap pre-treatment dalam sistem RO menunjukkan bahwa sand filter secara konsisten mampu menghasilkan air permeate dengan nilai Silt Density Index (SDI) < 5, yang masih berada dalam batas toleransi untuk pengoperasian membran RO.

Sementara itu, kombinasi sand filter dan ultrafiltrasi terbukti menghasilkan kualitas permeate dengan nilai SDI < 3, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi sistem serta memperpanjang umur pakai membran RO dalam jangka panjang (Benito-Alcázar et al., 2010). Silt Density Index (SDI) sendiri merupakan metode kuantitatif yang digunakan untuk menilai potensi penyumbatan membran RO akibat adanya partikel tersuspensi dalam air baku. Nilai SDI dihitung berdasarkan laju penurunan aliran air saat disaring melalui filter berukuran pori 0,45 mikrometer selama waktu tertentu, dan mencerminkan kecepatan fouling pada membran (El-Eswed et al., n.d.). Pada PT. X menggunakan pretreatment manganese filter dan sand filter ada proses intersepsi, adsorpsi dan sedimentasi, sehingga Fe dan Mn akan lebih banyak tersaring dibandingkan jika hanya menggunakan sand filter. (Medi Wilian et al., 2019)

Tabel 4. Standar Silt Density Index (SDI) pada Reverse Osmosis (RO) (El-Eswed et al., n.d.)

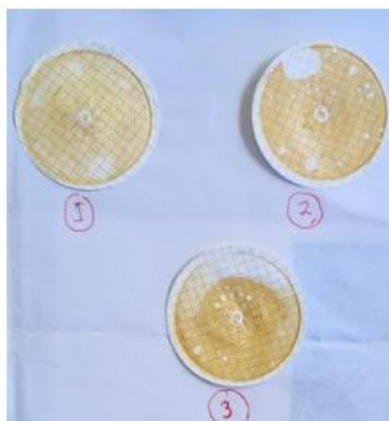
Pengecekan SDI (15 Menit)	Keterangan
< 3	Sangat baik untuk RO (risiko blocking sangat rendah)
3 – 5	Dapat diterima, tapi perlu perhatian
> 5	Tidak cocok untuk RO – perlu pre-treatment lebih lanjut

Tabel 5. Standar Pengecekan Aktual Silt Density Index (SDI) pada Reverse Osmosis (RO)

Sample	Before Improvement (SDI 15)	After Improvement (SDI 15)
1	5,15	1,75
2	5,03	1,36
3	5,1	1,92



Gambar 13. Pengecekan Aktual Silt Density Index (SDI) Before Improvement pada Reverse Osmosis (RO)



Gambar 14. Pengecekan Aktual Silt Density Index (SDI) After Improvement pada Reverse Osmosis (RO)

Dari gambar 12. dapat dilihat garis putus-putus pada grafik nilai kadar besi RO after improvement penambahan manganese filter mengalami tren penurunan sebanyak 100% yaitu dari 0,03 mg/L menjadi 0 mg/L. Hal ini dapat dilihat bahwa pada kondisi before improvement telah memenuhi ambang batas yang ditetapkan dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023, namun demikian, hasil keluaran dari unit carbon filter menunjukkan peningkatan kadar Fe menjadi 0,67 mg/L, yang mengindikasikan adanya kemungkinan kurangnya efektivitas tahapan filtrasi sebelumnya sehingga kinerja RO akan berat. Selanjutnya pada tabel 4. hasil uji laboratorium eksternal terhadap Silt Density Index (SDI) selama 15 menit menunjukkan nilai SDI test > 5 pada kondisi sebelum perbaikan, yang menandakan potensi tinggi untuk blocking pada membran RO dan menurunnya efisiensi proses filtrasi air. Setelah dilakukan after improvement pada tabel 4, nilai Fe pada keluaran carbon filter menurun menjadi 0,10 mg/L, dan nilai SDI test < 5 , yang menunjukkan bahwa kualitas air menuju unit RO telah meningkat. Hal ini memungkinkan sistem RO beroperasi dengan efisiensi lebih tinggi, meminimalkan risiko penyumbatan (membrane blocking) serta menghasilkan air dengan kadar Fe yang mendekati 0 mg/L.

Pada gambar 13. dan 14. dapat dilihat perbandingan dari SDI test yang dilakukan oleh tim laboratorium eksternal dimana before improvement SDI test banyak menyaring kandungan Fe dan zat pengotor yang belum terfiltrasi secara maksimal, sedangkan after improvement masih ada kandungan Fe dan zat pengotor yang belum terfiltrasi namun masih berada di batas standar.

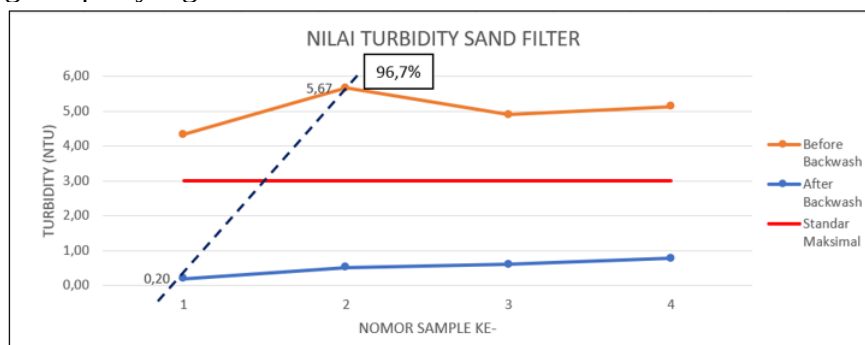
Cara Regenerasi Manganese Filter

Media filter memiliki batas jenuh pemakaian salah satunya adalah media filter manganese. Manganese filter dapat dikatakan jenuh jika kadar kekeruhan pada media filter tersebut meningkat. Maka dari itu perlu adanya regenerasi media filter dengan cara backwash. Proses backwash merupakan tahapan penting dalam sistem filtrasi untuk mengembalikan kapasitas media filter yang telah jenuh akibat akumulasi partikel padatan tersuspensi agar media filter dapat berfungsi secara optimal kembali (Shafa Yuniar Yasmin & Endi Permata, 2023). Dalam sistem pengolahan air, efektivitas dan efisiensi proses backwash sangat bergantung pada beberapa parameter utama, seperti tingkat kekeruhan air baku, jenis media filter yang digunakan serta ukuran butiran media.

Menurut (Kurniawan et al., 2023) menunjukkan bahwa semakin tinggi kekeruhan dan dosis koagulan, maka durasi dan frekuensi backwash akan semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh akumulasi partikel lebih cepat menutup pori-pori media, sehingga menurunkan headloss dan laju filtrasi.

Jenis media filter juga berpengaruh signifikan terhadap performa filtrasi dan kebutuhan backwash. Pada penelitian (Wathoni Akda Zahrotul et al., 2023) membandingkan pasir silika

dengan zeolit dan menemukan bahwa media zeolit hanya membutuhkan 6 kali backwash dalam satuan waktu tertentu, dibandingkan dengan pasir silika yang memerlukan hingga 9 kali backwash untuk mempertahankan efisiensi yang sama. Zeolit memiliki daya serap dan sifat fisik yang lebih baik dalam menangkap partikel halus. Selain itu, ukuran butiran media juga menjadi faktor krusial. Penelitian oleh (Putri et al., 2022) menunjukkan bahwa media dengan ukuran butiran besar (Effective Size = 1,29 mm) memerlukan waktu backwash yang lebih lama dibandingkan media berukuran kecil (ES = 0,87 mm), karena daya tahan tekanan dan laju pengendapan yang berbeda.



Gambar 15. Nilai Turbidity After Backwash Manganese Filter

Dapat dilihat pada Gambar 15. yaitu data perbandingan nilai kekeruhan (turbidity) air before dan after dilakukannya proses backwash pada sand filter. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebelum dilakukan backwash, nilai turbidity tertinggi terjadi pada titik kedua dengan nilai 5,67 NTU, yang jauh melebihi batas maksimum kekeruhan air bersih sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu ≤ 3 NTU. Nilai pada titik-titik lain pun secara konsisten berada di atas standar, mengindikasikan penurunan efektivitas media filter dalam menyaring partikel tersuspensi akibat akumulasi material.

Setelah dilakukan backwash, terjadi penurunan drastis nilai turbidity. Pada garis putus-putus dapat dilihat nilai turbidity menurun menjadi 0,20 NTU nilai ini dapat mencerminkan efisiensi penurunan sebesar 96,7% dibandingkan kondisi sebelumnya. Nilai pada sample berikutnya sesuai dengan standar hal ini menunjukkan bahwa proses backwash berhasil mengembalikan performa media filter secara signifikan. Peningkatan kekeruhan sebelum backwash disebabkan oleh akumulasi partikel pengotor, termasuk endapan senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$, yang terperangkap pada lapisan media penyaring seperti silika sand, coarse sand, dan fine sand di bawah lapisan manganese filter. Selain itu, kejenuhan media manganese filter dalam mekanisme intersepsi dan adsorpsi terhadap ion Fe^{2+} menyebabkan penurunan efisiensi proses pengikatan logam tersebut sehingga nilai turbidity output sand filter akan tinggi.

Oleh karena itu, backwash diperlukan untuk meregenerasi porositas media, memulihkan kapasitas adsorptif manganese filter, dan menjaga efektivitas sistem filtrasi secara keseluruhan. Pada PT. X, proses backwash pada media filter dilakukan dengan metode aliran balik, di mana air dialirkan dari sisi outlet menuju inlet media filter, sehingga kotoran yang terakumulasi dapat terlepas dan dikeluarkan melalui sisi inlet. Air yang digunakan dalam proses ini berasal dari air reject hasil unit Reverse Osmosis (RO), dengan tujuan mempercepat pemulihan efisiensi media filtrasi hingga mencapai tingkat kekeruhan yang sesuai dengan standar kualitas. Setelah volume air reject RO mencukupi, proses backwash dilanjutkan menggunakan air bertekanan tinggi yang dialirkan dari sisi outlet. Tekanan ini berperan penting untuk mendorong partikel kontaminan yang tersangkut di dalam pori-pori media filter agar dapat terlepas dan keluar melalui sisi inlet.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beberapa parameter kualitas air baku, seperti kadar besi (Fe), Total Dissolved Solids (TDS), dan turbidity, masih melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh Permenkes No. 2 Tahun 2023. Khususnya pada sumur 1, 6, dan 7, ditemukan konsentrasi Fe dan tingkat kekeruhan yang tinggi, yang menunjukkan bahwa air baku memerlukan proses pengolahan lebih lanjut untuk memenuhi standar air minum.
2. Penambahan manganese filter terbukti sangat efektif, dengan penurunan kadar Fe hingga 91,84%, dari 1,47 mg/L menjadi 0,12 mg/L. Proses ini melibatkan mekanisme oksidasi dan adsorpsi, di mana ion Fe^{2+} diubah menjadi Fe^{3+} dan diendapkan sebagai $\text{Fe}(\text{OH})_3$, yang kemudian lebih mudah disaring oleh lapisan media filtrasi berikutnya.
3. Regenerasi manganese filter dilakukan melalui proses backwash, yaitu pengaliran air bertekanan tinggi dari outlet ke arah inlet media filter. Pada PT. X, air yang digunakan berasal dari air reject RO, yang mampu mempercepat proses pembersihan. Backwash bertujuan untuk mengeluarkan endapan logam seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dari pori-pori media, serta mengembalikan efisiensi adsorpsi manganese filter untuk siklus penggunaan berikutnya.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada PT. X, maka saran yang sesuai dan relevan bahwa :

1. PT. X disarankan untuk melakukan optimalisasi sistem pengolahan air secara menyeluruh, terutama pada sumur-sumur yang masih menunjukkan kadar Fe, TDS, dan turbidity melebihi baku mutu. Perlu dilakukan penyesuaian desain dan kapasitas filtrasi berdasarkan karakteristik masing-masing sumber air.
2. Melakukan penambahan tangki khusus untuk manganese filter agar proses penurunan kadar Fe lebih optimal.
3. Proses backwash dan regenerasi manganese filter sebaiknya dilakukan secara terjadwal dan terdokumentasi, dengan pemantauan tekanan diferensial dan laju alir sebagai indikator penurunan efisiensi. Evaluasi performa filter akan mencegah penurunan kualitas air secara tiba-tiba dan menjaga umur pakai media filtrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Lenty Hoya, Yosilia, R., Mukti, A. D., Sugiharta, I., & Ratih, R. F. (2023). Pengembangan Alat Filter Air Menggunakan Kandungan Karbon Aktif yang Berbeda sebagai Media Pembelajaran. *Jurnal Basicedu*, 7(5), 3272–3281. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v7i5.6308>
- Air Mineral Alami SNI 6242:2015. (n.d.). www.bsn.go.id
- Ardiansah, F., Ainul Fais, M., Rasmito, A., Supratman Surabaya, W. R., & Arif Rahman Hakim. (2023). Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) menggunakan Manganese Greensand pada Air Tanah. 176.
- Ariesta, E., Gultom, F. B., & Rahman, R. (n.d.). Analisis Kualitas Air Berdasarkan Parameter Fisika Dan Parameter Kimia Di Kawasan Universitas Bengkulu Menggunakan Metode Ip (Indeks Pencemaran). <https://doi.org/10.33369/jlst.1.2.16-27>
- Ariyanti D, & Widiasta I. N. (2011). Aplikasi Teknologi Reverse Osmosis Untuk Pemurnian Air Skala Rumah Tangga.
- Artini Ni Putu Rahayu, VA Desak Putu Risky, & Fujiastuti Ni Kadek Mona. (2018). Penelitian Kualitas Air Sungai Balian, Tabanan, Bali Tahun 2018. *Jurnal Kesehatan Terpadu* 2 (1).
- Arzenius Situmorang, M., & Nasoetion, P. (2018). Penurunan Kadar Besi (Fe) dengan Menggunakan Metode Aerator Pneumatic System pada Air Sumur Gali (Studi Kasus : Di Desa Sukarame Bandar Lampung). *Jurnal Mahasiswa Teknik*, 45.
- Azzahrah Faradillah, & Susilawaty Andi. (2014). Efektivitas Pembubuhan Kaporit Dalam Menurunkan Kadar Zat Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali Tahun 2013.
- Babel, S., & Agustiono Kurniawan, T. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from

- contaminated water: a review. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 97).
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air. In *Standar Nasional Indonesia*.
- Badaruddin, Syarifuddin Kadir, & Nisa Khairun. (2021). Hidrologi Hutan.
- Benito-Alcázar, C., Vincent-Vela, M. C., Gozávez-Zafrilla, J. M., & Lora-García, J. (2010). Study of different pretreatments for reverse osmosis reclamation of a petrochemical secondary effluent. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1–3), 883–889. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.02.020>
- Bergman, Robert. (2007). Reverse osmosis and nanofiltration. American Water Works Association. Chemistry, 7(02). <http://dx.doi.org/10.23960%2Faec.v7i02.2022.p115-121> Anal. Environ. Chem.
- Dirisu, G. B., Okonkwo, U. C., Okokpujie, I. P., & Fayomi, O. S. I. (2019). Comparative analysis of the effectiveness of reverse osmosis and ultraviolet radiation of water treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(1), 61–75. <https://doi.org/10.12911/22998993/93978>
- Eka Prasaja, L., Firyanto, R., Laeli Kurniasari, dan, Pawiyatan Luhur, J., Dhuwur, B., & Abstrak, unwahasacid. (2015). Penentuan Dosis Optimum Khlorin Untuk Menurunkan Kandungan Besi pada Air Sungai Garang, Sungai Kreo dan Sungai di Tugu Soeharto.
- El-Eswed, B., Yousef, R. I., Alshaaer, M., Khalili, F., & Khoury, H. (n.d.). Alkali solid-state conversion of kaolin and zeolite to effective adsorbents for removal of lead from aqueous solution. www.deswater.com
- El-Sheikh, M. A., Elsheikh, M. A., Guirguis, H. S., & Fathy, A. (2016). A comparative study of methods used for Fe and Mn oxidation and removal from groundwater. In *JOURNAL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE* (Vol. 63, Issue 4). <https://www.researchgate.net/publication/326990940>
- Febrina, L., & Ayuna, A. (2015). Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1).
- Hafiz, M. A., Hawari, A. H., Yasir, A. T., Alfahel, R., Hassan, M. K., & Altaee, A. (2020). Impact of high turbidity on reverse osmosis: Evaluation of pretreatment processes. *Desalination and Water Treatment*, 208, 96–103. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26476>
- Herawati Netty, Dahlan Muhammad Hatta, Yusuf Maulana, Iqbal Maulid M, Roni Kiagus Ahmad, & Nasir Subriyer. (2023). Removal of total dissolved solids from oil-field-produced water using ceramic adsorbents integrated with reverse osmosis.
- Islam, M. S., Sultana, A., Saadat, A. H. M., Islam, M. S., Shammi, M., & Uddin, M. K. (2018). Desalination Technologies for Developing Countries: A Review. *Journal of Scientific Research*, 10(1), 77–97.
- ISO 13485 “Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes.” (2016).
- ISO 16972 “Respiratory Protective Devices.” (2020).
- ISO 4850 “Personal Eye-Protectors for Welding and Related Techniques — Filters.” (1979). ISO 16024 “Personal Protective Equipment For Protection Against Falls From a Height.” (2005).
- Jiao Miaolun, Yao Yonggang, Chen Chaoji, Pastel Glenn, Lin Zhiwei, Wu Qingyun, Cui Mingjin, He Shuaiming, & Hu Liangbing. (2020). Highly Efficient Water Treatment via a Wood-Based and Reusable Filter.
- Julyane, & Irma Rahmawati. (2024). Demineralisasi Kalsium (Ca) dan Besi (Fe) pada Air Minum Soft Water Berteknologi Reverse Osmosis (RO). *Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Pharmacy (PSCP)*, 02(01), 28–34. <https://jurnal.akfarbumisiliwangi.ac.id/index.php/pscp>
- Kang, H., Liu, Y., Li, D., & Xu, L. (2022). Study on the Removal of Iron and Manganese from Groundwater Using Modified Manganese Sand Based on Response Surface Methodology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/app122211798>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2010). Permenkes-No-492-Tahun-2010-tentang-Persyaratan-Kualitas-Air-Minum.
- Khaira Kuntum. (2013). Penentuan Kadar Besi (Fe) Air Sumur dan Air PDAM dengan Metode Spektrofotometri. *Jurnal Saintek*, V.

- Krisno, W., Nursahidin, R., Sitorus, R. Y., Ananda, F. R., & Guskarnali. (2021). Penentuan Kualitas Air Minum Dalam Kemasan Ditinjau dari Parameter Nilai PH dan TDS.
- Kurniawan, R., Purnaini, R., Kiki, D., & Utomo, P. (2023). Pengaruh Kekeruhan Dan Dosis Koagulan Terhadap Waktu Pencucian Filter (Backwash) Unit Filtrasi Ipa V Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Khatulistiwa. In *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 11, Issue 1).
- Latif Abdul. (2012). Pemanfaatan Air Hujan Melalui Teknologi Water Bank Untuk Memenuhi Ketersediaan Air Bersih Disalah Satu Desa Kabupaten Bandung Barat, Bandung.
- M.A Gales, S.I Magidson, J Wistrand, & D. B Guy. (2018). Reverse Osmosis Purifier. Maharani Oesman, N., & Sugito, dan. (n.d.). Penurunan Logam Besi Dan Mangan Menggunakan Filtrasi Media Zeolit Dan Manganese Greensand.
- McCabe Warren L., Smith Julian C, & Harriot Peter. (1993). *Unit Operations Of Chemical Engineering Fifth Edition*.
- Medi Wilian, R., Fitria, L., & Sutrisno, H. (2019). Pengaruh Susunan Multimedia Filter dalam Kolom Filtrasi terhadap Penurunan Parameter Zat Organik (Effect of Multimedia Filter Composition in Filtration Column Against the Decrease in Organic Matter Parameters). In *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 07, Issue 2).
- Mukhmudah Nisaul, & Notodarmojo Suprihanto. (2010). Penyisihan Besi-Mangan, Kekeruhan Dan Warna Menggunakan Saringan Pasir Lambat Dua Tingkat Pada Kondisi Aliran Tak Jenuh Studi Kasus: Air Sungai Cikapundung.
- Munfiah Siti. (2017). Keefektifan Karbon Aktif Tempurung Kelapa, Zeolit Dan Pasir Aktif Dalam Menurunkan Kekeruhan Air.
- Nkwonta, O., & Ochieng, G. (2009). Roughing filter for water pre-treatment technology in developing countries: A review. In *Article in International Journal of the Physical Sciences* (Vol. 4, Issue 9). <http://www.academicjournals.org/ijps>
- Nugroho, A., Amanah, N. L., & Firdaus, R. G. (2022). Adsorption study of mango peel activated carbon as iron removal for batik waste industry. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(1), 19. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.69404>
- Nur Febrianti, A., & Budhiyanti Tribhuwaneswari, A. (2024). Combination of Gallery Well Reactor and Slow Sand Filtration for Clean Water Reclamation in Flooded Area (Study Case: Morowudi Village, Gresik District). *Journal of Research and Technology*, 10(2), 165–174.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. (n.d.). www.peraturan.go.id
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 tahun 2021. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2015). *Sistem Penyedia Air Minum*.
- Pinto Patricio X, Al Abed Souhail, Balz David A, Butler Barbara A, Landy Ronald B, & Smith Samantha J. (n.d.). Bench-Scale and Pilot-Scale Treatment Technologies for the Removal of Total Dissolved Solids from Coal Mine Water: A Review.
- Pramesti, D. S., & Puspikawati, S. I. (2020). Analisis Uji Kekeruhan Air Minum Dalam Kemasan Yang Beredar Di Kabupaten Banyuwangi.
- Prastistho Bambang, Pratiknyo Puji, Rodhi Achmad, Prasetyadi C., Massora M. Ridwan, & Munandar Yulian Kurnia. (2018). Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah (1st ed., Vol. 1). LPPM UPN “Yogyakarta” Press.
- Priyadi, Indriyati Elsa, & Damanik Hanna. (n.d.). Overview of Efforts to Control Aedes aegypti Mosquito Larvae and Larval Density in the Satu Ulu Public Health Center Area, Seberang Ulu I District, Palembang City in 2020.
- Putra Tri Syukria, Adisti Tri, & Gusri Lailal. (2024). Penurunan Kadar Logam Besi(Fe) dan Mangan(Mn) pada Air Sumur Bor Menggunakan Metode Filtrasi Upflow.
- Putri, S. E., Listyendah Zahra, N., Sarwono, A., Nastiti, A. D., & Sekarsari, D. (2022). The Effect of Filter Media Grain Size on the Headloss and Backwash Duration at PT PAM Lyonnaise Jaya (PALYJA).
- Qadri Rasyid, N., & Rifo Rianto, M. (n.d.). Kandungan Logam Besi Pada Air Sumur Bor Di Muara Sungai Tallo Kota Makassar. In *Jurnal Medika: Media Ilmiah Analis Kesehatan* (Vol. 6, Issue 1).
- Rahmawati N, & Sugito. (2015). Reduksi Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Tanah Menggunakan

Media Filtrasi Manganese Greensand dan Zeolit Terpadukan Resin.

- Ramli, D. N., Navianti, D., & Karwiti, W. (n.d.). Pengaruh Jenis Air yang Digunakan Terhadap Kadar Klorin pada Air Seduhan Kertas Pembungkus Teh Celup.
- Rasmito Agung, Pamungkas Diyan Aji, Arsandi M Rezky Jaya, S Bayu, & Widarto Wahyu Tri. (n.d.). Penggunaan Manganese Green Sand Untuk Menurunkan Kadar Fe dan Mn Dalam Air Tanah.
- Rasmito Agung, Pamungkas Diyan Aji, Arsandi M Rezky Jaya, S Bayu, & Widarto Wahyu Tri. (2019). Penggunaan Manganese Green Sand Untuk Menurunkan Kadar Fe dan Mn Dalam Air Tanah .
- Riansyah Muhammad Lutfi, & Al Kholif Muhammad. (2021). Pengaruh Media Filter Manganese Greensand, Karbon Aktif, Pasir Silika, dan Kerikil dalam Menurunkan Kadar Mangan, Kekeruhan dan Bau Pada Air Sumur.
- Rosita, N. (2014). Analisis Kualitas Air Minum Isi Ulang Beberapa Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) di Tangerang Selatan. In Jurnal Kimia Valensi (Vol. 4, Issue 2).
- Said Nusa Idaman. (2005a). Metoda Penghilangan Zat Besi dan Mangan Di Dalam Penyediaan Air Minum Domestik. 1(3).
- Said Nusa Idaman. (2005b). Pembuatan Filter Untuk Menghilangkan Zat Besi dan Mangan Di Dalam Air.
- Said Nusa Idaman. (2007). Pengolahan Air Minum Dengan Karbon Aktif Bubuk (Vol. 3, Issue 2).
- Saja S, Bouazizi A, Achiou B, Ouaddari H, Karim A, Ouammou M, Aaddane A, Bennazha J, & Younsi S Alami. (2020). Fabrication of low-cost ceramic ultrafiltration membrane made from bentonite clay and its application for soluble dyes removal.
- Sari Mayang, & Huljana Mifta. (2019). Analisis Bau, Warna, TDS, pH, dan Salinitas Air Sumur Gali di Tempat Pembuangan Akhir. ALKIMIA : Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan.
- Sari, S. Y. I., Iqbal, M., Cahyadi, A. I., Respati, T., Raksanagara, A. S., & Agoes, R. (2018). The Effectiveness of Ultraviolet, Ozonization and Reverse Osmosis as Disinfection Method in Drinking Water Refill Stations. Global Medical & Health Communication (GMHC), 6(3). <https://doi.org/10.29313/gmhc.v6i3.3427>
- Selamat. (2012). Studi Pemilihan Sumber Air Baku Air Minum Penduduk di Kecamatan Jejangkit Kabupaten Barito Kuala.
- Setiadi Yudi. (2022). Proses Pengolahan Air Baku Menjadi Air Bersih di PAM Tirta Kamuning.
- Shafa Yuniar Yasmin, & Endi Permata. (2023). Sistem Backwash Pada Filtrasi Sistem Pengolahan Air Minum Menggunakan Motor Listrik Pompa Sentrifugal di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Madani Kota Serang. Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika, 2(2), 138–149. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v2i2.1675>
- Sisca Vivi. (2016). Penentuan Kualitas Air Minum Isi Ulang Terhadap Kandungan Nitrat, Besi, Mangan, Kekeruhan, pH, Bakteri E Coli dan Coliform. Chempublish Journal Volume 1.
- SNI 7079 “Safety Shoes.” (2009).
- SNI ISO 3873 “Safety Helmet.” (2012).
- Sommerfeld, E. O. (n.d.). Iron and Manganese Removal Handbook Iron and Manganese Removal Handbook Iron and Manganese Removal Handbook • Elmer O The Authoritative Resource on Safe Water ®.
- Thinojah, T., & Ketheesan, B. (2022). Iron removal from groundwater using granular activated carbon filters by oxidation coupled with the adsorption process. Journal of Water and Climate Change, 13(5), 1985–1994. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.126>
- Thirunavukkarasu O. S, Phommavong T, Jin Y. C, & Ferris S. A. (2014). Performance of reverse osmosis and manganese greensand plants in removing naturally occurring substances in drinking water . Water Quality Research Journal .
- Untari. (2022). Analisis Nilai TDS (Total Dissolve Solid) Pada Air Sumur Kota Dan Kabupaten Sorong Sebagai Gambaran Kualitas Air Sumur Bor. Analit: Analytical and Environmental
- Warono, D. (n.d.). Unjuk Kerja Spektrofotometer Untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen. Wathoni Akda Zahrotul, Tidja Benny Yulius Richardo, & Rahayu Astuti Widi Rahayu. (2023). Pengaruh Media Filtrasi terhadap Produktivitas dan Frekuensi Backwash.
- Williams, M. E. (2003). A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology. Wowor, B. Y.,

- Hanurawaty, N. Y., & Yulianto, B. (2023). Perbedaan Variasi Ketebalan Media Filter Arang Aktif Terhadap Penurunan Kadar Total Dissolved Solids (TDS). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(1), 76–83. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.1.76-83>
- Zamora, R., Wildian, & Harmadi. (2015). Perancangan Alat Ukur TDS (Total Dissolved Solid) Air dengan Sensor Konduktivitas Secara Real Time. 1, 11–15