

EFEKTIVITAS MEDIA FITER PASIR AKTIF DALAM MENURUNKAN KADAR MANGAN PADA AIR BERSIH di PT X

*Effectiveness of Active Sand Filter Media in Meeting Clean Water Standards
and Protecting the Health of PT X Employees*

Muhamad Iqbal^{1*}, Sri Slamet Mulyati¹

¹Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Bandung, Cimahi, Indonesia

*Email: muhamadiqbal@staff.poltekkesbandung.ac.id

ABSTRACT

Clean water pollution at PT X is caused by manganese levels that exceed the safe limit, reaching 2.01 mg/L, which has the potential to endanger the health of employees. This research aimed to evaluate the effectiveness of active sand filter media thickness in reducing manganese levels in clean water at PT X. This research was an experiment with a post-test with a control group design. This type of experiment involves testing certain treatments, with three variations in the thickness of the active sand filter media (60cm, 80cm, and 100cm), as well as six repetitions for each treatment. Active sand is prepared by washing, drying, and heating at a temperature of 700-750°C for 2 hours. After use, the sand media is cleaned via backwash to maintain optimal performance during testing. The examination results using the spectrophotometer method showed that a thickness of 100cm was the most effective, reducing manganese levels by up to 97.67%, followed by a thickness of 80cm by 86.19%, and thickness of 60cm with a reduction of 47.97%. The ANOVA test indicated a significant difference in the reduction of manganese levels between the control and treatment groups, with a thickness of 100 cm giving significant results ($F=22.054$, $p=0.003$) and a thickness of 60 cm showing the highest F-value ($F=481.201$). The filter media thickness plays an important role in the effectiveness of manganese reduction, with a thickness of 100 cm proving optimal. It is recommended to use a thickness of 100 cm to ensure clean water quality at PT X.

Keywords: active sand, clean water, manganese

ABSTRAK

Pencemaran air bersih di PT X disebabkan oleh kadar mangan yang melebihi batas aman, mencapai 2,01 mg/L, yang berpotensi membahayakan kesehatan pegawai. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas ketebalan media filter pasir aktif dalam menurunkan kadar mangan pada air bersih di PT X. Penelitian ini merupakan eksperimen dengan desain *post-test with control group design*. Jenis eksperimen ini melibatkan pengujian perlakuan tertentu, dengan tiga variasi ketebalan media filter pasir aktif (60 cm, 80 cm, dan 100 cm), serta 6 kali pengulangan untuk setiap perlakuan. Pasir aktif dipersiapkan melalui pencucian, pengeringan, dan pemanasan pada suhu 700-750°C selama 2 jam. Setelah digunakan, media pasir dibersihkan melalui backwash untuk menjaga performa optimal selama pengujian. Hasil pemeriksaan menggunakan metode spektrofotometer menunjukkan bahwa ketebalan 100 cm paling efektif, menurunkan kadar mangan hingga 97,67%, diikuti ketebalan 80 cm dengan 86,19%, dan ketebalan 60 cm dengan penurunan 47,97%. Uji ANOVA mengindikasikan perbedaan signifikan dalam penurunan kadar mangan antara kelompok kontrol dan perlakuan, dengan ketebalan 100 cm memberikan hasil signifikan ($F = 22,054$, $p = 0,003$) dan ketebalan 60 cm menunjukkan nilai F tertinggi ($F = 481,201$). Ketebalan media filter memainkan peran penting dalam efektivitas penurunan mangan, dengan ketebalan 100 cm terbukti paling optimal. Direkomendasikan untuk menggunakan ketebalan 100 cm untuk memastikan kualitas air bersih di PT X sesuai standar kesehatan, sekaligus meningkatkan kualitas air dan kesehatan pegawai.

Kata kunci: air bersih, pasir aktif, mangan

PENDAHULUAN

Pencemaran air bersih adalah salah satu kebutuhan pokok yang harus terpenuhi bagi setiap individu. Namun, di banyak tempat, kualitas air bersih sering kali terancam oleh berbagai faktor, termasuk pencemaran oleh logam berat seperti mangan.¹ Mangan adalah salah satu logam berat yang dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia jika terdapat dalam kadar yang tinggi dalam air minum. Paparan kronis terhadap mangan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti kerusakan saraf, gangguan perkembangan pada anak-anak, dan masalah kesehatan lainnya.²

PT X memiliki luas lahan tertutup dan lahan terbuka hijau seluas $\pm 123.342,68 \text{ m}^2$ dengan jumlah pegawai sebanyak 2900 orang. Kebutuhan air bersih di PT X sebesar $36 \text{ m}^3/\text{hari}$, yang digunakan untuk keperluan kamar mandi/WC sebanyak $19 \text{ m}^3/\text{hari}$, penyiraman/cuci sebanyak $5 \text{ m}^3/\text{hari}$. Air bersih yang telah diolah di PT X digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari pegawai. Namun, hasil pemeriksaan laboratorium menunjukkan bahwa kadar mangan dalam air bersih yang diolah di PT X sebesar $2,01 \text{ mg/l}$ sehingga dikategorikan masih berada di atas batas aman menurut standar kesehatan yang telah ditetapkan.³

Air di industri bisa mengandung mangan (Mn) karena beberapa faktor, termasuk sumber air yang digunakan, aktivitas industri, dan kondisi lingkungan di sekitar industri. Mangan secara alami ditemukan dalam batuan dan tanah, sehingga air tanah yang digunakan oleh industri sering kali mengandung mangan dalam bentuk terlarut. Ketika air tanah bersentuhan dengan lapisan geologis yang kaya mangan, unsur ini akan larut ke dalam air, terutama di lingkungan dengan kadar oksigen rendah. Selain itu, korosi pada sistem perpipaan logam yang mengandung mangan juga bisa menjadi

sumber kontaminasi. Aktivitas industri, seperti pertambangan, peleburan logam, atau pembuatan baterai, sering kali menghasilkan limbah yang mengandung mangan, yang kemudian dapat mencemari air di sekitar lokasi industri.⁴

Penggunaan bahan kimia tertentu yang mengandung mangan dalam proses produksi atau pengolahan air limbah juga bisa meningkatkan kadar mangan dalam air. Semua faktor ini berkontribusi terhadap tingginya kadar mangan dalam air industri, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat mempengaruhi kualitas air dan proses produksi industri tersebut.⁵

Mangan dalam air bersih dapat menimbulkan risiko kesehatan serius bagi manusia, terutama jika kadarnya melebihi batas aman. Data epidemiologi menunjukkan bahwa paparan berlebih mangan, terutama melalui air minum, dapat mempengaruhi sistem saraf. Sebuah studi mengungkap bahwa anak-anak yang terpapar mangan dalam kadar tinggi berisiko mengalami penurunan kemampuan kognitif serta gangguan perkembangan neurologis, seperti yang diamati pada anak-anak di wilayah dengan air terkontaminasi.⁶

Studi lain juga menemukan bahwa paparan jangka panjang pada orang dewasa, terutama di tempat kerja, dapat menyebabkan akumulasi mangan di otak, khususnya di area globus pallidus. Hal ini menyebabkan gejala yang mirip dengan Parkinsonisme, seperti gangguan motorik dan penurunan fungsi kognitif.⁷

Studi-studi ini menekankan pentingnya pengelolaan kadar mangan dalam air untuk mencegah dampak kesehatan yang serius, terutama bagi populasi rentan seperti anak-anak dan pekerja yang terpapar dalam jangka panjang. Mengatasi pencemaran mangan dalam air bersih di PT X sangat penting untuk melindungi kesehatan pegawai dan memastikan air yang

digunakan aman sesuai standar kesehatan yang ditetapkan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi kadar mangan dalam air adalah dengan menggunakan media filter pasir aktif.⁸ Media filter pasir aktif telah dikenal efektif dalam menghilangkan berbagai kontaminan dalam air, termasuk logam berat seperti mangan. Namun, efektivitas media filter pasir aktif dalam mengurangi kadar mangan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah ketebalan media filter.⁹

Penggunaan pasir aktif sebagai media filtrasi dalam menurunkan kadar mangan (Mn) dalam air memiliki dasar yang kuat berdasarkan sifat dan kemampuan pasir aktif dalam proses adsorpsi dan oksidasi. Pasir aktif memiliki permukaan berpori yang luas, yang memungkinkan terjadinya interaksi lebih optimal antara partikel mangan dan permukaan pasir aktif, sehingga terjadi penyerapan kontaminan secara efisien. Salah satu keunggulan utama dari pasir aktif adalah kemampuannya untuk mengoksidasi mangan menjadi bentuk yang lebih mudah diendapkan atau disaring, yaitu dari Mn(II) menjadi Mn(IV), yang kemudian dapat diadsorpsi oleh permukaan pasir.¹⁰

Selain itu, pasir aktif telah lama digunakan secara luas dalam pengolahan air untuk menghilangkan logam berat karena sifatnya yang stabil, mudah diperoleh, dan ekonomis. Pasir aktif juga relatif lebih tahan lama dan tidak memerlukan penggantian yang terlalu sering, menjadikannya pilihan yang efektif dari segi biaya operasional dalam jangka panjang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pasir aktif dapat menurunkan kadar mangan dengan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan media lain, seperti pasir silika biasa atau karbon aktif.¹¹

Penelitian yang dilakukan oleh Abdulraheemet et al. juga menunjukkan bahwa pasir aktif mampu menurunkan

kadar mangan dalam air hingga 97%, dibandingkan dengan media lain yang hanya mencapai 60-80% penurunan. Kemampuan ini disebabkan oleh sifat pasir aktif yang lebih baik dalam mengikat dan mengoksidasi logam berat, sehingga cocok digunakan dalam sistem filtrasi air yang membutuhkan penurunan kadar logam berat secara signifikan.¹²

Secara keseluruhan, pasir aktif dipilih sebagai media filtrasi untuk menurunkan mangan karena kemampuannya dalam oksidasi, adsorpsi, ketersediaan yang melimpah, dan efektivitasnya yang lebih baik dibandingkan media filter lainnya, terutama dalam konteks pengolahan air bersih yang terkontaminasi logam berat.

Pasir aktif memiliki permukaan yang luas dan berpori, yang memungkinkan terjadinya proses adsorpsi dan filtrasi yang efektif terhadap kontaminan. Selain itu, pasir aktif mampu mengoksidasi logam berat seperti mangan menjadi bentuk yang lebih mudah diendapkan dan disaring, sehingga meminimalkan kandungannya dalam air. Keunggulan lainnya adalah pasir aktif relatif mudah diperoleh, ekonomis, serta memiliki umur pakai yang cukup lama dibandingkan media filtrasi lainnya.^{13,14}

Metode ini juga banyak digunakan secara luas dalam industri pengolahan air karena kemampuannya yang konsisten dalam menjaga kualitas air, sehingga sesuai untuk diterapkan di PT X dalam rangka menurunkan kadar mangan yang melebihi batas aman. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas air bersih yang digunakan oleh pegawai PT X serta memperbaiki kualitas lingkungan sekitar perusahaan.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan yang digunakan untuk menemukan solusi yang efektif dan efisien dalam mengatasi masalah pencemaran mangan pada air bersih di PT X. Penelitian ini berfokus pada

evaluasi inovatif terhadap variasi ketebalan media filter pasir aktif sebagai metode untuk menurunkan kadar mangan, yang belum banyak dieksplorasi dalam konteks pengolahan air bersih di industri dengan skala besar seperti PT X. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan kondisi spesifik di lapangan, termasuk karakteristik air dan kebutuhan kualitas air bagi karyawan, yang memberikan kontribusi penting terhadap peningkatan kualitas hidup dan kesehatan di lingkungan kerja. Pendekatan ini tidak hanya relevan bagi PT X, tetapi juga dapat diaplikasikan secara lebih luas di industri lain yang menghadapi masalah serupa, menjadikannya solusi yang potensial untuk pengelolaan air bersih di berbagai sektor industri.

METODE

Metode penelitian ini adalah eksperimen dengan menggunakan desain *post-test with control design* dengan 3 variasi ketebalan media saringan (60 cm, 80 cm, dan 100 cm). Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April – Juni tahun 2024. Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, di mana dilakukan pengujian langsung terhadap variabel bebas, yaitu ketebalan media saringan pasir aktif, untuk melihat pengaruhnya terhadap penurunan kadar mangan (Mn) dalam air bersih. Setelah perlakuan, hasil dari setiap variasi diuji menggunakan uji statistik ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok perlakuan dengan kontrol. Uji ANOVA digunakan karena penelitian ini melibatkan lebih dari dua kelompok sampel, sehingga memungkinkan analisis perbedaan hasil antar variasi ketebalan media saringan dengan akurat.

Pemilihan media saringan dengan ketebalan 60 cm, 80 cm, dan 100 cm dalam penelitian ini didasarkan pada prinsip bahwa variasi ketebalan media

filtrasi berpengaruh terhadap efektivitas proses penyaringan. Ketebalan media saringan memengaruhi waktu kontak air dengan media filtrasi, di mana semakin tebal media saringan, semakin lama air berinteraksi dengan media, sehingga memberikan peluang lebih besar untuk partikel mangan teradsorpsi atau terperangkap di dalam media. Ketebalan yang bervariasi (60 cm, 80 cm, dan 100 cm) dipilih untuk menentukan ketebalan optimal yang paling efektif dalam menurunkan kadar mangan dari air, tanpa mengorbankan efisiensi sistem filtrasi secara keseluruhan.

Ketebalan ini juga memungkinkan analisis komprehensif mengenai sejauh mana pengaruh ketebalan media terhadap penurunan konsentrasi mangan dalam kondisi operasional nyata di industri seperti PT X. Dengan memvariasikan ketebalan, penelitian dapat memberikan data yang relevan untuk menentukan keseimbangan antara efektivitas pengurangan mangan dan efisiensi operasional dalam penggunaan media filtrasi.

Sampel air sebanyak 24 liter diambil dari air sumur PT X, dengan 6 sampel untuk pre test dan 18 sampel untuk post test dilakukan dengan 6 (enam) kali pengulangan untuk setiap perlakuan untuk memastikan konsistensi hasil. Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan ketebalan media saringan pasir aktif yang paling efektif dalam menurunkan kadar Mn pada air bersih. Variabel bebasnya adalah ketebalan media saringan pasir aktif (3 variasi), dan variabel terikatnya adalah kadar Mn pada air bersih setelah perlakuan. Beberapa strategi homogenisasi variabel diterapkan untuk memastikan hasil yang akurat.

Bentuk dan ukuran reaktor, sumber air baku, sumber saringan pasir aktif, dan waktu kontak distandarisasi untuk meminimalkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses filtrasi. Besar sampel ditentukan berdasarkan rumus dan perhitungan. Total 24 sampel air

digunakan, dengan 6 sampel untuk pre test dan 18 sampel untuk post test. Pembuatan pasir aktif dimulai dengan persiapan pasir, yang dicuci bersih menggunakan air untuk menghilangkan kotoran dan lumpur. S

Setelah dicuci, pasir dikeringkan di bawah sinar matahari atau dengan menggunakan oven pada suhu rendah untuk memastikan tidak ada kelembapan yang tersisa. Langkah selanjutnya adalah memanaskan pasir dalam tungku pada suhu sekitar 700 - 750°C selama 2 jam. Pemanasan ini bertujuan untuk mengikat dan memperkuat lapisan aktif pada permukaan pasir, sehingga pasir lebih efektif dalam proses filtrasi. Setelah dipanaskan, pasir didinginkan secara perlahan dan kemudian siap digunakan.

Pendinginan harus dilakukan secara bertahap dengan membiarkan pasir tetap berada di dalam tungku hingga suhu menurun secara alami. Ini bertujuan untuk menghindari kerusakan termal atau retakan pada butiran pasir akibat perubahan suhu yang terlalu cepat. Setelah suhu oven turun hingga level aman, sekitar 50-100°C, pasir dapat dikeluarkan dan diletakkan di ruang terbuka yang berventilasi baik, di atas permukaan tahan panas seperti baki logam.

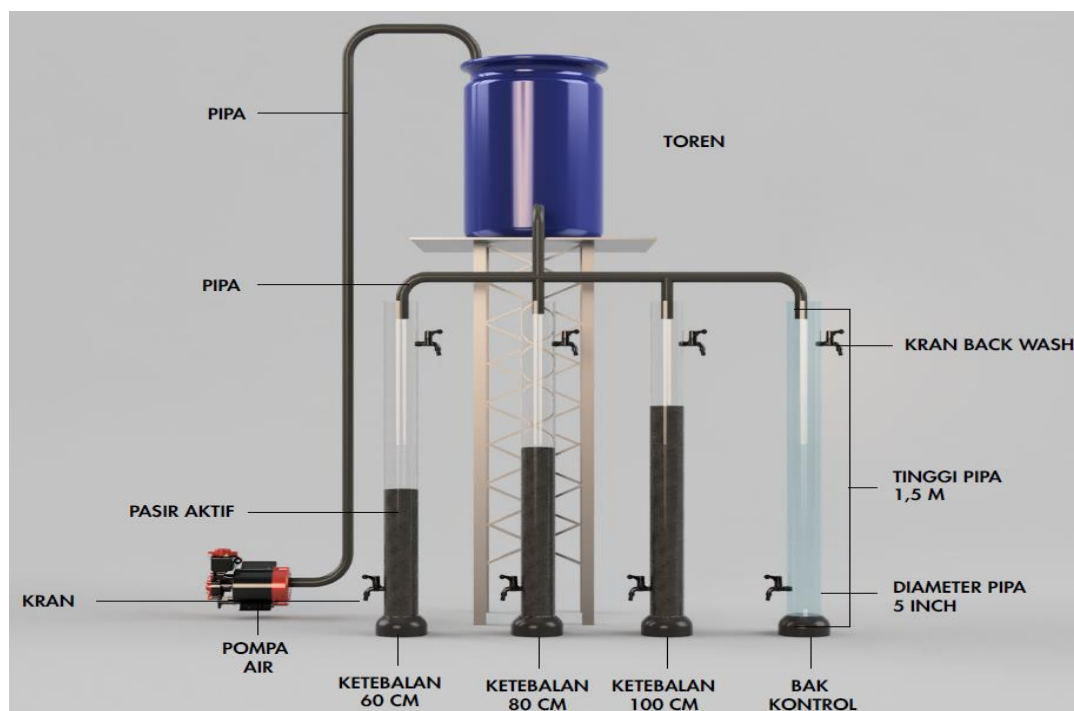
Untuk memastikan pasir aktif bekerja dengan optimal, dilakukan uji di laboratorium. Pasir yang telah dioven dimasukkan ke dalam beaker glass berisi air, lalu diamati apakah terdapat gelembung udara yang keluar dari pasir tersebut. Munculnya gelembung menandakan bahwa pasir masih memiliki pori-pori yang aktif, yang penting untuk proses adsorpsi logam berat seperti mangan. Selanjutnya, air uji yang mengandung mangan dilewatkan melalui pasir aktif, dan hasil air filtrasi diukur kadar mangannya

menggunakan alat spektrofotometer atau metode laboratorium lain yang sesuai di salah satu laboratorium swasta di Kota Bandung. Jika kadar mangan menurun secara signifikan, maka pasir aktif tersebut dinyatakan efektif.

Pada gambar no 1, terlihat sebuah instalasi filtrasi air menggunakan media pasir aktif. Sistem ini terdiri atas beberapa komponen utama, seperti toren air yang berada di bagian atas dengan pipa yang mengalirkan air ke dalam tiga tabung filter berisi pasir aktif dengan ketebalan berbeda. Tabung pertama memiliki ketebalan pasir aktif sebesar 60 cm, tabung kedua dengan ketebalan 80 cm, dan tabung ketiga dengan ketebalan 100 cm.

Setiap tabung memiliki pipa vertikal dengan diameter 5 inch dan tinggi pipa 1,5 meter. Pompa air digunakan untuk mengalirkan air dari bak kontrol ke dalam tabung-tabung filter. Di bagian bawah setiap tabung terdapat kran untuk mengontrol aliran air. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan kran back wash yang berfungsi untuk membersihkan filter dengan aliran balik, menjaga agar pasir aktif tetap berfungsi dengan optimal.

Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan kran backwash yang berfungsi untuk membersihkan filter dengan aliran balik, menjaga agar pasir aktif tetap berfungsi secara optimal. Namun, dalam setiap pengulangan pengujian, media filter pasir aktif tidak diganti, melainkan hanya dibersihkan melalui proses backwash untuk menghilangkan akumulasi kotoran dan partikel yang tersaring. Hal ini memastikan bahwa pasir aktif tetap berada dalam kondisi optimal selama uji berlangsung, tanpa perlu mengganti media filtrasi di setiap siklus pengujian.



Gambar 1. Rancang Bangun Alat

HASIL

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Mangan Pada Air Bersih di PT X

No	Pasir Aktif	Kontrol	Kadar Mangan (mg/l)		
			60 cm	80 cm	100 cm
1	Pengulangan 1	2,13	1,93	0,73	0,1
2	Pengulangan 2	2,09	1,31	0,61	0,08
3	Pengulangan 3	2,01	1,02	0,10	0,06
4	Pengulangan 4	2,01	0,81	0,10	0,03
5	Pengulangan 5	2,01	0,74	0,10	0,01
6	Pengulangan 6	2,00	0,62	0,09	0,01
	Rata – rata	2,04	1,07	0,29	0,05
	Minimal	2,00	0,62	0,09	0,01
	Maksimal	2.04	1,07	0,29	0,06

Tabel 1 menunjukkan variasi ketebalan media filter pasir aktif adalah salah satu aspek penting dalam pengolahan air bersih untuk mengurangi kadar mangan. Dalam penelitian ini, tiga variasi ketebalan media filter pasir aktif - yaitu 60 cm, 80 cm, dan 100 cm - diamati untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing variasi dalam menurunkan kadar mangan pada air bersih. Ketebalan media filter memiliki peran

sentral dalam menyediakan permukaan kontak antara air dan material filter, yang dapat mempengaruhi proses penurunan kadar mangan secara signifikan. Oleh karena itu, analisis komprehensif terhadap dampak variasi ketebalan ini penting untuk memahami sejauh mana media filter pasir aktif dapat berkontribusi dalam memperbaiki kualitas air bersih.

Tabel 2. Persentase Penurunan Kadar Mangan

No	Pasir Aktif	Kadar Mangan (%)		
		60 cm	80 cm	100 cm
1	Pengulangan 1	9,39	65,73	95,31
2	Pengulangan 2	37,32	70,81	96,17
3	Pengulangan 3	49,25	95,02	97,01
4	Pengulangan 4	59,70	95,02	98,51
5	Pengulangan 5	63,18	95,02	99,10
6	Pengulangan 6	69	95,5	99,5
	Rata – rata	47,97	86,19	97,67

Tabel 2 menunjukkan hasil pemeriksaan laboratorium dengan menggunakan metode spektrofotometer didapat bahwa penurunan paling efektif adalah pada media filter pasir 100 cm yaitu sebesar 97,67%, sedangkan pada media filter pasir 80 cm didapat persentase penurunan sebesar 86,19 % dan pada media filter pasir 60 cm penurunan paling kecil yaitu hanya sebesar 47,97 %. Hasil pemeriksaan laboratorium secara jelas mengindikasikan bahwa efektivitas penurunan kadar mangan paling tinggi terjadi pada media filter pasir dengan ketebalan 100 cm, mencapai persentase sebesar 97,67%.

Ini mengimplikasikan bahwa ketebalan media filter memainkan peran sentral dalam proses pengurangan kadar mangan pada air bersih. Ketika media filter memiliki ketebalan yang lebih besar, luas permukaan kontak antara air dan media filter meningkat, memberikan waktu lebih lama bagi reaksi adsorpsi dan penurunan kadar mangan untuk terjadi. Oleh karena itu, tingginya efektivitas pada ketebalan 100 cm mengindikasikan bahwa media filter pasir memiliki lebih banyak area untuk berinteraksi dengan zat terlarut, sehingga penurunan kadar mangan dapat terjadi dengan lebih efisien.¹⁵

Tabel 3. Hasil Analisis Uji Anova

		Anova				
		Sum of Square	Df	Mean Square	F	Sig
Kontrol	<i>Between Group</i>	16,411	3	5,470	40,198	0,000
	<i>Within Group</i>	2,722	20	0,136		
	Total	19,132	23	5,470		
Variasi 1	<i>Between Group</i>	23,001	3	5,470	481,201	0,000
	<i>Within Group</i>	1,686	20	0,136		
	Total	24,687	23	5,470		
Variasi 2	<i>Between Group</i>	11,889	3	5,470	38,055	0,996
	<i>Within Group</i>	0,673	20	0,136		
	Total	12,562	23	5,470		
Variasi 3	<i>Between Group</i>	20,342	3	5,470	22,054	0,003
	<i>Within Group</i>	2,879	20	0,136		
	Total	23,221	23	5,470		

Berdasarkan hasil analisis ANOVA pada tabel 3, ditemukan perbedaan signifikan dalam penurunan kadar mangan pada air bersih di antara kelompok kontrol dan tiga variasi ketebalan media pasir aktif. Pada kelompok kontrol, nilai F sebesar 40,198 dengan nilai signifikansi 0,000

menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan, menandakan bahwa proses filtrasi pasir aktif memiliki dampak yang jelas terhadap penurunan kadar mangan. Pada variasi ketebalan 1, hasil analisis juga menunjukkan nilai F yang

sangat tinggi sebesar 481,201 dengan signifikansi 0,000, mengindikasikan bahwa penurunan kadar mangan pada ketebalan ini sangat signifikan. Untuk variasi ketebalan 2, nilai F sebesar 38,055 dengan signifikansi 0,996 menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan kadar mangan, perbedaannya tidak terlalu signifikan, yang mungkin disebabkan oleh variasi pada proses filtrasi. Pada variasi ketebalan 3, nilai F sebesar 22,054 dengan signifikansi 0,003 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, namun dampaknya tidak sebesar pada variasi ketebalan 1. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa ketebalan media pasir aktif mempengaruhi efektivitas penurunan kadar mangan, dengan ketebalan tertentu menunjukkan hasil yang lebih optimal dalam proses filtrasi.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ketebalan media filter pasir aktif memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penurunan kadar mangan pada air bersih. Pada variasi dengan ketebalan 60 cm, terjadi penurunan rata-rata kadar mangan sebesar 47,97%. Sementara itu, variasi dengan ketebalan 80 cm mencapai penurunan sebesar 86,19%, dan variasi dengan ketebalan 100 cm menghasilkan penurunan sebesar 97,67%. Penurunan yang lebih besar pada variasi ketebalan tertentu berhubungan dengan faktor permukaan kontak yang lebih luas antara air dan media filter pasir aktif. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan ketebalan media filter dapat memengaruhi efisiensi dalam menurunkan kadar mangan dan perlu diperhatikan dalam perencanaan sistem pengolahan. Dalam menginterpretasi perbedaan efisiensi antara variasi ketebalan media filter pasir aktif, faktor-faktor hidrodinamika dan kinetika reaksi perlu diperhatikan.¹⁶

Dalam menginterpretasi perbedaan efisiensi antara variasi ketebalan media filter pasir aktif, penting untuk mempertimbangkan dua faktor utama, yaitu hidrodinamika dan kinetika reaksi. Dari sisi hidrodinamika, semakin tebal media filter seperti 100 cm, semakin lama waktu kontak antara air dan media, yang memungkinkan proses adsorpsi berjalan lebih efektif. Waktu kontak yang lebih lama memberikan kesempatan lebih besar bagi ion mangan (Mn^{2+}) untuk terperangkap dan teroksidasi menjadi bentuk yang lebih mudah diendapkan, seperti MnO_2 . Sebaliknya, pada media yang lebih tipis, seperti 60 cm, laju aliran air lebih cepat, sehingga waktu kontak menjadi lebih singkat dan mengurangi efisiensi proses filtrasi.¹⁷

Selain itu, faktor kinetika reaksi juga berperan dalam efisiensi penurunan mangan. Pasir aktif bekerja melalui reaksi oksidasi mangan yang bergantung pada kecepatan reaksi kimia yang terjadi di permukaan media filter. Pada ketebalan yang lebih besar, reaksi berjalan lebih efisien karena ion mangan memiliki lebih banyak waktu untuk teroksidasi. Namun, kecepatan reaksi ini juga dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti pH, suhu, dan konsentrasi awal mangan. Oleh karena itu, meskipun ketebalan media berpengaruh besar, efisiensi keseluruhan tetap dipengaruhi oleh kondisi operasional lainnya. Dengan demikian, kombinasi antara hidrodinamika dan kinetika reaksi sangat menentukan efektivitas filtrasi dalam mengurangi kadar mangan.¹⁸

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa variasi ketebalan media pasir aktif memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar mangan dalam air. Pada kelompok kontrol, nilai F sebesar 40,198 dengan nilai signifikansi 0,000 menegaskan perbedaan signifikan antara air yang tidak melalui filtrasi dan yang difiltrasi. Untuk variasi ketebalan 60 cm, nilai F mencapai 481,201 dengan signifikansi

0,000, menunjukkan bahwa ketebalan ini efektif, namun belum optimal. Sementara itu, variasi ketebalan 80 cm menunjukkan nilai F 38,055 dengan signifikansi 0,996, yang berarti hasil penurunan kadar mangan tidak signifikan. Pada variasi ketebalan 100 cm, nilai F sebesar 22,054 dengan signifikansi 0,003, mengindikasikan ketebalan ini adalah yang paling efektif dalam menurunkan kadar mangan. Secara keseluruhan, semakin tebal media filter, semakin efektif penurunan kadar mangan, dengan ketebalan 100 cm sebagai yang paling optimal.

Variasi ketebalan media filter dapat memengaruhi laju aliran air dan waktu kontak antara air dan media filter. Ketebalan yang lebih besar mungkin memberikan waktu kontak yang lebih lama, memungkinkan reaksi penurunan kadar mangan untuk berlangsung lebih efektif. Selain itu, aspek-aspek kinetika reaksi kimia dan adsorpsi mangan pada media filter juga berpotensi memengaruhi perbedaan efisiensi antara variasi ketebalan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap mekanisme reaksi dan dinamika aliran perlu diperoleh untuk menjelaskan perbedaan efektivitas antara variasi tersebut.¹⁹

Hasil analisis efisiensi penurunan kadar mangan melalui variasi ketebalan media filter pasir aktif memberikan implikasi praktis yang signifikan dalam pengolahan air bersih. Penggunaan variasi ketebalan yang tepat dapat membantu perusahaan atau lembaga pengelola air untuk memaksimalkan efektivitas proses penurunan kadar mangan dengan mempertimbangkan aspek ekonomi dan teknis.²⁰ Dalam konteks penelitian lanjutan, investigasi lebih lanjut terhadap mekanisme kinetika reaksi dan optimasi desain sistem pengolahan air bersih dengan mempertimbangkan faktor hidrodinamika menjadi langkah yang berpotensi meningkatkan pemahaman dan kinerja pengolahan air bersih secara keseluruhan.²¹

Hasil pemeriksaan laboratorium didapat bahwa penurunan paling efektif adalah pada media filter pasir 100 cm yaitu sebesar 97.67%, sedangkan pada media filter pasir 80 cm didapat persentase penurunan sebesar 86.19 % dan pada media filter pasir 60 cm penurunan paling kecil yaitu hanya sebesar 47.97 %. Hasil pemeriksaan laboratorium secara jelas mengindikasikan bahwa efektivitas penurunan kadar mangan paling tinggi terjadi pada media filter pasir dengan ketebalan 100 cm, mencapai persentase sebesar 97.67%. Ini mengimplikasikan bahwa ketebalan media filter memainkan peran sentral dalam proses pengurangan kadar mangan pada air bersih.

Ketika media filter memiliki ketebalan yang lebih besar, luas permukaan kontak antara air dan media filter meningkat, memberikan waktu lebih lama bagi reaksi adsorpsi dan penurunan kadar mangan untuk terjadi. Oleh karena itu, tingginya efektivitas pada ketebalan 100 cm mengindikasikan bahwa media filter pasir memiliki lebih banyak area untuk berinteraksi dengan zat terlarut, sehingga penurunan kadar mangan dapat terjadi dengan lebih efisien.¹⁵

Variasi efektivitas penurunan kadar mangan antara ketebalan media filter pasir aktif 60 cm, 80 cm, dan 100 cm dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan. Pertama, luas permukaan kontak antara media filter dan air akan meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan media filter. Hal ini berpotensi meningkatkan peluang interaksi dan adsorpsi antara partikel mangan dan media filter pasir aktif, yang pada gilirannya mempengaruhi efektivitas penurunan kadar mangan.

Kedua, laju aliran air melalui media filter juga dapat mempengaruhi efektivitas proses. Ketebalan media filter yang lebih besar dapat mengurangi laju aliran dan memberikan waktu kontak yang lebih lama antara air dan

media filter, memungkinkan reaksi adsorpsi berlangsung lebih lama dan mencapai penurunan kadar mangan yang lebih besar. Ketiga, sifat kinetika reaksi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi media filter terhadap mangan juga berperan dalam efektivitas penurunan. Kekuatan ikatan antara media filter dan mangan, serta kapasitas media filter dalam menyerap zat terlarut, dapat bervariasi dan mempengaruhi sejauh mana penurunan kadar mangan dapat terjadi.^{22,23}

Temuan bahwa media filter pasir dengan ketebalan 100 cm memiliki efektivitas penurunan kadar mangan yang paling tinggi, diikuti oleh variasi ketebalan 80 cm dan 60 cm, memberikan panduan berharga dalam pemilihan dan penggunaan media filter pasir aktif dalam pengolahan air. Penggunaan media filter pasir dengan ketebalan 100 cm dapat dianggap sebagai pilihan yang sangat efektif dalam mengatasi masalah kadar mangan yang tinggi pada air bersih, terutama pada skala yang membutuhkan pengolahan air dengan kualitas sangat baik.

Namun, dalam situasi di mana pertimbangan biaya, kompleksitas operasional, dan ruang fisik menjadi faktor penting, penggunaan media filter pasir dengan ketebalan 80 cm atau 60 cm masih memberikan solusi yang efektif dan dapat diandalkan. Oleh karena itu, pengambilan keputusan dalam pemilihan ketebalan media filter pasir aktif harus mempertimbangkan konteks spesifik, tujuan pengolahan air, serta aspek teknis dan ekonomis yang relevan. Temuan ini membantu menciptakan cara-cara baru yang lebih baik untuk mengolah air bersih, yang dapat diterapkan di berbagai tempat dan ukuran, baik di lingkungan kecil seperti rumah tangga, maupun skala besar seperti pabrik atau kota.

Pada penelitian Sri didapat bahwa dengan variasi ketebalan pasir dan karbon aktif menunjukkan bahwa ketebalan efektif dalam menurunkan

kadar Fe dan Mn untuk ketiga sampel pada ketebalan pasir 80 cm dan karbon aktif 40 cm, dengan penurunan untuk Fe pada sebesar 95,07% dan Mn sebesar 97,87%.²⁴

SIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi ketebalan pasir aktif memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar mangan dalam air bersih. Ketebalan 100 cm terbukti menjadi media yang paling efektif dalam menurunkan kadar mangan, diikuti oleh ketebalan 80 cm dan 60 cm. Penggunaan pasir aktif pada ketebalan yang lebih tinggi memberikan hasil filtrasi yang lebih baik dan lebih efisien dalam menghilangkan kandungan mangan dari air.

Uji ANOVA menunjukkan bahwa ketebalan media pasir aktif berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar mangan dalam air. Ketebalan 100 cm terbukti paling efektif, dengan nilai F sebesar 22,054 dan signifikansi 0,003, dibandingkan dengan ketebalan 60 cm dan 80 cm. Semakin tebal media filter, semakin optimal penurunan kadar mangan, menjadikan ketebalan 100 cm sebagai ketebalan paling efisien untuk proses filtrasi.

Disarankan menggunakan media pasir aktif dengan ketebalan minimal 100 cm untuk hasil yang optimal. Selain itu, pemeliharaan rutin dan backwash pada filter perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga performa filtrasi agar tetap efektif dalam jangka panjang. Penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan faktor lain seperti variasi aliran air atau jenis media tambahan untuk meningkatkan efektivitas filtrasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Bapak/Ibu Direktur PT X serta seluruh staf HSE, atas dukungan dan kerjasama yang diberikan selama penelitian ini. Bantuan Anda sangat berharga dalam mencapai

hasil yang maksimal. Semoga kerjasama yang baik ini dapat terus berlanjut di masa depan.

DAFTAR RUJUKAN

1. Soegianto IA. *Ekologi Perairan Tawar*. Surabaya: Airlangga University Press; 2019.
2. Mohod C V, Dhote J. Review of Heavy Metals in Drinking Water and Their Effect on Human Health. *Int J Innov Res Sci Eng Technol*. 2013;2(7):2992-2996.
3. Kementerian Kesehatan. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. *Kemenkes Republik Indones*. 2023;151(2):Hal 10-17.
4. Duan N, Fan W, Changbo Z, Chunlei Z, Hongbing Y. Analysis of pollution materials generated from electrolytic manganese industries in China. *Resour Conserv Recycl*. 2010;54(8):506-511.
5. Huang Z, Tang Y, Zhang K, et al. Environmental risk assessment of manganese and its associated heavy metals in a stream impacted by manganese mining in South China. *Hum Ecol Risk Assess An Int J*. 2016;22(6):1341-1358.
6. Schullehner J, Thygesen M, Kristiansen SM, Hansen B, Pedersen CB, Dalsgaard S. Exposure to manganese in drinking water during childhood and association with attention-deficit hyperactivity disorder: a nationwide cohort study. *Environ Health Perspect*. 2020;128(9):97004.
7. Balachandran RC, Mukhopadhyay S, McBride D, et al. Brain manganese and the balance between essential roles and neurotoxicity. *J Biol Chem*. 2020;295(19):6312-6329.
8. HAMEED S. Removal of Iron and Manganese from Ground Water by Different Techniques. *J Res Lepid*. 2019;50(4):458-468. doi:10.36872/lepi/v50i4/201110
9. Yang H, Tang X, Luo X, Li G, Liang H, Snyder S. Oxidants-assisted sand filter to enhance the simultaneous removals of manganese, iron and ammonia from groundwater: formation of active MnOx and involved mechanisms. *J Hazard Mater*. 2021;415:125707.
10. Patil DS, Chavan SM, Oubagaranadin JUK. A review of technologies for manganese removal from wastewaters. *J Environ Chem Eng*. 2016;4(1):468-487.
11. Yang H, Yan Z, Du X, et al. Removal of manganese from groundwater in the ripened sand filtration: Biological oxidation versus chemical auto-catalytic oxidation. *Chem Eng J*. 2020;382:123033.
12. Abdulraheem FS, Al-Khafaji ZS, Hashim KS, Muradov M, Kot P, Shubbar AA. Natural filtration unit for removal of heavy metals from water. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol 888. IOP Publishing; 2020:12034.
13. Hoslett J, Massara TM, Malamis S, et al. Surface water filtration using granular media and membranes: A review. *Sci Total Environ*. 2018;639:1268-1282.
14. Ding Z, Hu X, Morales VL, Gao B. Filtration and transport of heavy metals in graphene oxide enabled sand columns. *Chem Eng J*. 2014;257:248-252.
15. Nainggolan AH, Tarigan APM, Khair H. Pengaruh aerasi bertingkat dengan kombinasi saringan pasir, karbon aktif, dan zeolit dalam menyisihkan parameter Fe dan Mn dari air tanah di Pesantren Ar-Raudhatul Hasanah. *J Dampak*. 2017;14(1):1-12.
16. Chen L, Zhang J, Zheng X. Coupling technique for deep removal of manganese and iron from potable water. *Environ Eng Sci*. 2016;33(4):261-269.
17. Kruisdijk E, van Breukelen BM, van Halem D. Simulation of rapid sand filters to understand and design sequential iron and manganese removal using reactive transport modelling. *Water Res*. 2024:122517.

18. Jiang S, Guo X, Wang Y, et al. NaClO-based rapid sand filter in treating manganese-containing surface water: Fast ripening and mechanism. *J Environ Chem Eng.* 2023;11(1):109082.
19. Jeż-Walkowiak J, Dymaczewski Z, Weber Ł. Iron and manganese removal from groundwater by filtration through a chalcedonite bed. *J Water Supply Res Technol.* 2015;64(1):19-34.
20. Freitas LPG, Sariani NLP, Putri DAPAG, Wiradyatmika AAGA, Kertiriasih NNR. Sosialisasi Perancangan Pengelolaan Air Bersih Melalui Metode Filtrasi dengan Media Pasir Besi. *Bubungan Tinggi J Pengabdian Masyarakat.* 2023;5(2):1069-1076.
21. Rendyta Wahyuningtyas S, Budi Prijanto T, Karmini M. Perbedaan Ketebalan Media Arang Sekam Padi Terhadap Penurunan Kadar Mangan (Mn) Pada Air Bersih. *J Ris Kesehat Poltekkes Depkes Bandung.* 2019;11(2):155-159.
22. Mangarengi NAP, Abdullah NO, Fisuf AF. Application of Cation Resin Regeneration for Ferrous (Fe²⁺) and Manganese (Mn²⁺) Removal from Shallow Groundwater using Packed-Bed Column with Thomas Model. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* Vol 1117. IOP Publishing; 2022:12046.
23. Onyutha C, Okello E, Atukwase R, Nduhukiire P, Ecodu M, Kwiringira JN. Improving household water treatment: using zeolite to remove lead, fluoride and arsenic following optimized turbidity reduction in slow sand filtration. *Sustain Environ Res.* 2024;34(1):4.
24. Ikbar AM, Bhernama BG. The use of Iron Sand as Filtration Media for Slaughterhouse Wastewater Treatment. *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknol.* 2024;8(1).