

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

1. Gambaran Geografi

Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Banta-Bantaeng, yang merupakan salah satu kelurahan di Kecamatan Rappocini, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi ini dipilih karena merupakan wilayah padat penduduk dengan aktivitas domestik yang tinggi serta terdapat sumber air yang dalam beberapa kasus menunjukkan gejala pencemaran logam berat, khususnya besi (Fe).

Secara geografis, Kelurahan Banta-Bantaeng berbatasan dengan:

- a. Sebelah Utara: Kelurahan Buakana dan Rappocini
- b. Sebelah Selatan: Kelurahan Pa'Baeng-Baeng
- c. Sebelah Timur: Kelurahan Tidung
- d. Sebelah Barat: Kelurahan Mamajang Dalam

2. Gambaran Demografi

Kelurahan Banta-Bantaeng memiliki luas wilayah sekitar 12,97 hektar dan berada pada ketinggian ± 500 meter di atas permukaan laut. Secara administratif, wilayah ini terdiri dari 8 RW dan 69 RT. Jumlah penduduk berdasarkan data terakhir dari kelurahan diperkirakan sekitar 14.800 jiwa, dengan jumlah kepala keluarga (KK) lebih dari 3.900.

B. Hasil

Setelah melakukan penelitian mengenai efektivitas media saring zeolit dan arang kayu dengan variasi ketebalan dalam menurunkan kadar Fe pada air sumur bor dengan replikasi sebanyak 3 kali diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 5.1
Hasil Uji Normalitas Pemeriksaan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit dan Arang Kayu

Variasi Ketebalan	Rerata Presentase penurunan (mg/l)	Penurunan (%)	df	<i>p-value</i>
Zeolit 60 cm dan Arang 30 cm	0,1 mg/l	58,82	3	1,000
Zeolit 60 cm dan Arang 60 cm	0,08 mg/l	50,97	3	0,843
Zeolit 30 cm dan Arang 30 cm	0,11mg/l	68,62	3	0,194
Zeolit 30 cm dan Arang 60 cm	0,09 mg/l	57,04	3	0,637

Sumber: Data Primer

Tabel 5.1 menunjukkan hasil uji normalitas terhadap data penurunan kadar Fe pada berbagai variasi ketebalan media saring zeolit dan arang kayu menunjukkan bahwa seluruh data memiliki distribusi normal. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *p-value* yang lebih besar dari 0,05 pada semua kombinasi variasi ketebalan media. Kombinasi zeolit 60 cm dan arang 30 cm menunjukkan *p-value* 1,000 > 0,05 dengan presentase penurunan kadar Fe sebesar 0,1

mg/l. Kombinasi zeolit 60 cm dan arang 60 cm memiliki *p-value* sebesar $0,843 > 0,05$ dengan penurunan 0,08 mg/l. Kombinasi zeolit 30 cm dan arang 30 cm menunjukkan *p-value* $0,194 > 0,05$ dengan penurunan 0,11 mg/l, dan kombinasi zeolit 30 cm serta arang 60 cm memiliki *p-value* sebesar $0,637 > 0,05$ dengan penurunan 0,09 mg/l. Dengan demikian hasil uji normalitas mengindikasikan bahwa data pada seluruh variasi ketebalan media saring memenuhi asumsi normalitas.

1. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor

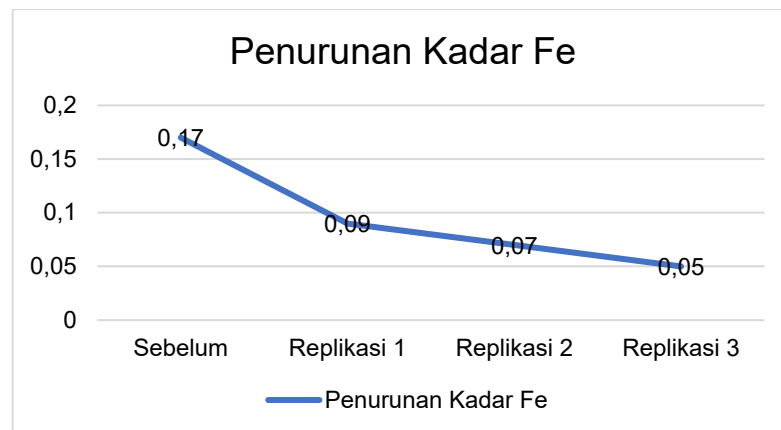
Tabel 5.2
Hasil Pemeriksaan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm

Replikasi	Hasil Pemeriksaan		Penurunan (mg/l)	Penurunan (%)	<i>p-value</i>
	Sebelum	Sesudah			
R1	0,17 mg/l	0,09 mg/l	0,08 mg/l	47,05	0,004
R2	0,17 mg/l	0,07 mg/l	0,1 mg/l	58,82	
R3	0,17 mg/l	0,05 mg/l	0,12 mg/l	70,58	
Rerata	0,17 mg/l	0,07 mg/l	0,1 mg/l	58,82	

Sumber: Data Primer

Berdasarkan tabel 5.2 menunjukkan penurunan kadar besi (Fe) tertinggi terjadi pada replikasi 3 sebesar 70,58% dan penurunan terendah pada replikasi 1 sebesar 47,05% dengan rerata penurunan sebesar 58,82%. Sementara hasil *p-value* menunjukkan $0,004 < 0,05$ yang mengindikasikan ada pengaruh

media saring zeolit dengan ketebalan 60 cm dan arang kayu dengan ketebalan 30 cm.



Grafik 4.1 Penurunan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm

Berdasarkan grafik 4.1 menunjukkan hasil pemeriksaan terhadap penurunan kadar Fe yang menunjukkan sebelum perlakuan sebesar 0,17 mg/l dan setelah perlakuan pada replikasi 1 sebesar 0,09 mg/l, replikasi 2 sebesar 0,07 mg/l, dan replikasi 3 sebesar 0,05 mg/l.

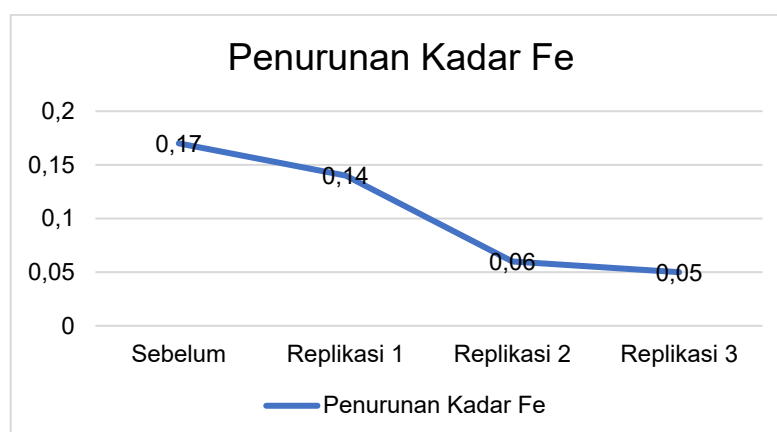
2. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor.

Tabel 5.3
Hasil Pemeriksaan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm

Replikasi	Hasil Pemeriksaan		Penurunan (mg/l)	Penurunan (%)	<i>p-value</i>
	Sebelum	Sesudah			
R1	0,17 mg/l	0,14 mg/l	0,03 mg/l	17,64	0,004
R2	0,17 mg/l	0,06 mg/l	0,11 mg/l	68,70	
R3	0,17 mg/l	0,05 mg/l	0,12 mg/l	70,58	
Rerata	0,17 mg/l	0,25 mg/l	0,08 mg/l	50,97	

Sumber: Data Primer

Berdasarkan tabel 5.3 menunjukkan penurunan kadar besi (Fe) tertinggi terjadi pada replikasi 3 sebesar 70,58% dan penurunan terendah pada replikasi 1 sebesar 17,64% dengan rerata penurunan sebesar 50,97%. Sementara hasil *p-value* menunjukkan $0,004 < 0,05$ yang mengindikasikan ada pengaruh media saring zeolit dengan ketebalan 60 cm dan arang kayu dengan ketebalan 60 cm.



Grafik 4.2 Penurunan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm

Berdasarkan grafik 4.2 menunjukkan hasil pemeriksaan terhadap penurunan kadar FE yang menunjukkan sebelum perlakuan sebesar 0,17 mg/l dan setelah perlakuan pada replikasi 1 sebesar 0,14 mg/l, replikasi 2 sebesar 0,06 mg/l, dan replikasi 3 sebesar 0,05 mg/l.

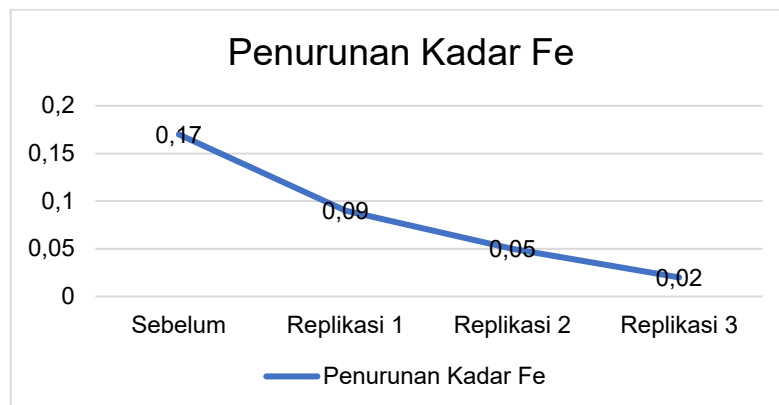
3. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor.

Tabel 5.4
Hasil Pemeriksaan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm

Replikasi	Hasil Pemeriksaan		Penurunan (mg/l)	Penurunan (%)	<i>p-value</i>
	Sebelum	Sesudah			
R1	0,17 mg/l	0,09 mg/l	0,08 mg/l	47,05	0,004
R2	0,17 mg/l	0,05 mg/l	0,12 mg/l	70,58	
R3	0,17 mg/l	0,02 mg/l	0,15 mg/l	88,23	
Rerata	0,17 mg/l	0,05 mg/l	0,11 mg/l	68,62	

Sumber: Data Primer

Berdasarkan tabel 5.4 menunjukkan penurunan kadar besi (Fe) tertinggi terjadi pada replikasi 3 sebesar 88,23% dan penurunan terendah pada replikasi 1 sebesar 47,05% dengan rerata penurunan sebesar 68,62%. Sementara hasil *p-value* menunjukkan $0,004 < 0,05$ yang mengindikasikan ada pengaruh media saring zeolit dengan ketebalan 30 cm dan arang kayu dengan ketebalan 30 cm.



Grafik 4.3 Penurunan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm

Berdasarkan grafik 4.3 menunjukkan hasil pemeriksaan terhadap penurunan kadar FE yang menunjukkan sebelum perlakuan sebesar 0,17 mg/l dan setelah perlakuan pada replikasi 1 sebesar 0,09 mg/l, replikasi 2 sebesar 0,05 mg/l, dan replikasi 3 sebesar 0,02 mg/l.

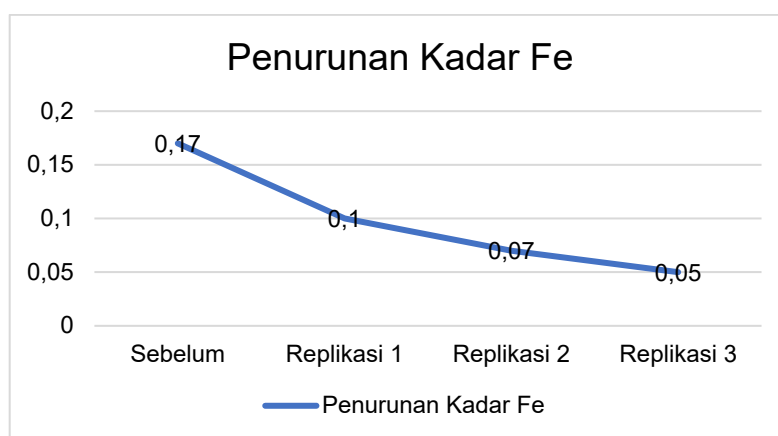
4. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor

Tabel 5.5
Hasil Pemeriksaan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm

Replikasi	Hasil Pemeriksaan		Penurunan (mg/l)	Penurunan (%)	p-value
	Sebelum	Sesudah			
R1	0,17 mg/l	0,10 mg/l	0,07 mg/l	41,17	0,004
R2	0,17 mg/l	0,07 mg/l	0,10 mg/l	58,82	
R3	0,17 mg/l	0,05 mg/l	0,12 mg/l	70,58	
Rerata	0,17 mg/l	0,07 mg/l	0,09 mg/l	57,04	

Sumber: Data Primer

Berdasarkan tabel 5.5 menunjukkan penurunan kadar besi (Fe) tertinggi terjadi pada replikasi 3 sebesar 70,58% dan penurunan terendah pada replikasi 1 sebesar 41,17% dengan rerata penurunan sebesar 57,04%. Sementara hasil *p-value* menunjukkan $0,004 < 0,05$ yang mengindikasikan ada pengaruh media saring zeolit dengan ketebalan 30 cm dan arang kayu dengan ketebalan 60 cm.



Grafik 4.4 Penurunan Kadar Fe pada Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm

Berdasarkan grafik 4.4 menunjukkan hasil pemeriksaan terhadap penurunan kadar FE yang menunjukkan sebelum perlakuan sebesar 0,17 mg/l dan setelah perlakuan pada replikasi 1 sebesar 0,10 mg/l, replikasi 2 sebesar 0,07 mg/l, dan replikasi 3 sebesar 0,05 mg/l.

Tabel 5.6
Hasil Uji One-Way ANOVA Variasi Ketebalan
Media Zeolit dan Arang

Variasi Ketebalan Media Zeolit dan Arang	Presentase penurunan (mg/l)	df	F	p-value
Zeolit 60 cm dan Arang 30 cm	0,1 mg/l	3	7,640	0,004
Zeolit 60 cm dan Arang 60 cm	0,08 mg/l	3		
Zeolit 30 cm dan Arang 30 cm	0,11mg/l	3		
Zeolit 30 cm dan Arang 60 cm	0,09 mg/l	3		

Sumber: Data Primer

Berdasarkan tabel 5.6 menunjukkan hasil uji statistik dengan menggunakan uji One-Way ANOVA kadar Fe setelah dilakukan pengolahan didapatkan nilai df (derajat bebas) dalam artian jumlah kelompok yaitu 3. Nilai statistik F dari hasil perhitungan ANOVA yaitu 7,640 dengan adanya perbedaan yang jelas setiap kelompok dengan *p-value* $0,004 < 0,05$, sehingga mengindikasikan bahwa variasi ketebalan media zeolit dan arang memiliki efektivitas terhadap kadar Fe yang dihasilkan.

Tabel 5.7
Hasil Uji Post Hoc Tukey

Variasi Ketebalan Media Zeolit dan Arang	Mean Difference	<i>p-value</i>
Zeolit 60 cm dan Arang 30 cm	-10.000*	0,020
Zeolit 60 cm dan Arang 60 cm	-8.667*	0,045
Zeolit 30 cm dan Arang 30 cm	-11.667*	0,008
Zeolit 30 cm dan Arang 60 cm	-12.667*	0,004

Sumber: Data Primer

Berdasarkan tabel 5.7 menunjukkan hasil uji post hoc tukey yang mengindikasikan bahwa seluruh variabel variasi ketebalan media zeolit dan arang menunjukkan perbedaan signifikan terhadap penurunan kadar Fe dengan *p-value* < 0,05. Hasil ini menegaskan bahwa ketebalan media zeolit dan arang efektif memberikan pengaruh nyata terhadap efektivitas proses adsorpsi.

C. Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi media saring zeolit dan arang kayu efektif dalam menurunkan kadar besi (Fe) dalam air sumur bor. Efektivitas media saring ditentukan oleh kemampuan adsorpsi dan pertukaran ion dari masing-masing bahan, serta ketebalan media yang digunakan. Ketebalan media yang lebih optimal memberikan waktu tinggal (*residence time*) yang lebih lama bagi air untuk berinteraksi dengan media penyaring, sehingga meningkatkan penyerapan ion logam.

Air sumur bor merupakan salah satu sumber air bersih yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat, terutama di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan air perpipaan (Rahmadani *et al.*, 2021). Namun, penggunaan air sumur bor seringkali menghadapi permasalahan kualitas, salah satunya adalah tingginya kandungan logam besi (Fe). Menurut Sari *et al.*, (2023) kandungan Fe yang melebihi ambang batas yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, dapat menyebabkan perubahan warna, rasa, dan bau pada air serta berdampak terhadap kesehatan jika dikonsumsi dalam jangka panjang. Untuk mengatasi permasalahan ini, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah menggunakan media penyaring alami seperti zeolit dan arang kayu.

Zeolit merupakan mineral hasil tambang yang mempunyai sifat lunak dan mudah kering. Zeolit berwarna putih ke abu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan (Muntu & Rahmadhany, 2024). Kristal zeolit yang banyak ditemui berukuran tidak lebih dari 10-15 mikron. Zeolit memiliki struktur berpori dan daya tukar ion tinggi, sehingga mampu menyerap logam berat seperti Fe dari air.

Sementara karakteristik arang antara lain berupa padatan yang berwarna hitam, tidak berasa, tidak berbau, bersifat higroskopis, tidak larut dalam air, asam, basa ataupun pelarut-pelarut organik. Selain itu, arang aktif juga tidak rusak akibat pengaruh suhu maupun penambahan pH selama proses aktivasi. Arang tidak hanya

mengandung atom karbon saja, tetapi juga mengandung sejumlah kecil oksigen dan hidrogen yang terikat secara kimia dalam bentuk gugus-gugus fungsi yang bervariasi, misalnya gugus karbonil (CO), karboksil (COO), fenol, lakton, dan beberapa gugus eter. Oksigen pada permukaan arang aktif, kadang-kadang berasal dari bahan baku atau dapat juga terjadi pada proses aktivasi dengan uap (H_2O) atau udara. Keadaan ini biasanya dapat menyebabkan arang bersifat asam atau basa.

Arang dikenal memiliki sifat adsorptif yang baik terhadap berbagai kontaminan, termasuk logam, karena mengandung karbon aktif dengan luas permukaan tinggi. Kombinasi keduanya diyakini mampu meningkatkan efektivitas proses penyaringan air. Ketebalan media penyaring juga menjadi faktor penting dalam menentukan tingkat efisiensi penyisihan logam. Ketebalan yang lebih besar dapat memperpanjang waktu tinggal air dalam media, sehingga meningkatkan kontak antara air dan media penyaring.

1. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor

Dalam menguji efektivitas kombinasi media penyaring tersebut, dilakukan penelitian dengan menggunakan media zeolit setebal 60 cm dan arang kayu setebal 30 cm terhadap penurunan kadar Fe dalam air sumur bor. Hasil pengukuran sebelum dan

sesudah proses penyaringan ditampilkan pada Tabel 5.2 diperoleh hasil pemeriksaan kadar besi (Fe) pada air sumur bor sebelum dan sesudah melalui proses penyaringan menggunakan media saring zeolit dengan ketebalan 60 cm dan arang kayu dengan ketebalan 30 cm. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar Fe sebelum dilakukan penyaringan pada ketiga replikasi (R1, R2, dan R3) memiliki nilai yang sama, yaitu sebesar 0,17 mg/l. Setelah dilakukan proses penyaringan, kadar Fe mengalami penurunan yang bervariasi. Pada replikasi pertama (R1), kadar Fe menurun menjadi 0,09 mg/l dengan penurunan sebesar 0,08 mg/l atau setara 47,05%. Replikasi kedua (R2) menurun menjadi 0,07 mg/l (penurunan 0,10 mg/l atau 58,82%), sedangkan replikasi ketiga (R3) menurun lebih besar menjadi 0,05 mg/l, yaitu penurunan sebesar 0,12 mg/l atau 70,58%. Secara keseluruhan, rata-rata kadar Fe setelah penyaringan adalah 0,07 mg/l dengan rata-rata penurunan sebesar 0,1 mg/l atau setara 58,81%.

Temuan dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian Trianah & Sani (2023) yang juga menunjukkan bahwa kombinasi media tersebut efektif dalam menurunkan kadar Fe dari 1,20 mg/L menjadi 0,18 mg/L. Meskipun jenis arang yang digunakan berbeda, prinsip kerja adsorpsi karbon aktif yang terkandung dalam arang sangat mirip, sehingga mendukung hasil bahwa arang kayu juga memiliki kemampuan serupa dalam mengikat ion Fe dari air.

Sejalan pula dengan penelitian Putra *et al.*, (2024) yang mengembangkan metode filtrasi *upflow* dengan media gabungan seperti zeolit, antrasit, dan pasir silika untuk menurunkan kadar logam Fe dan Mn pada air sumur bor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu menurunkan kadar Fe dengan rata-rata 1,38 mg/L atau 83,4%. Meskipun media yang digunakan berbeda, pendekatan teknologi sederhana dan prinsip filtrasi bertingkat memperlihatkan kemiripan metodologis dan efektivitas yang sebanding.

Penelitian Sappewali *et al.*, (2024) juga mendukung temuan dalam penelitian ini yang menunjukkan pengaruh variasi ketebalan media filtrasi terhadap penurunan kadar Fe pada air sumur gali di Kabupaten Gowa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan media, termasuk penggunaan zeolit dan arang, mampu menurunkan kadar Fe dari 4,21 mg/L menjadi 0,67 mg/L dengan efektivitas sebesar 84,08%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan media, maka waktu tinggal (*retention time*) air dalam media semakin lama, sehingga proses adsorpsi dan pertukaran ion berlangsung lebih efektif.

Penurunan kadar Fe yang signifikan ini menunjukkan efektivitas kombinasi media zeolit dan arang kayu sebagai media penyaring. Zeolit dikenal memiliki struktur pori-pori yang sangat halus dan luas permukaan yang besar, sehingga efektif dalam menangkap ion logam berat melalui mekanisme pertukaran ion dan

adsorpsi. Menurut Muntu & Rahmadhany (2024) semakin banyak pori-pori yang ada didalam media zeolit sehingga luas permukaan pori maka akan semakin efektif dalam menyerap, pada akhirnya pori-pori yang ada pada zeolit akan terisi penuh oleh partikel-partikel yang diserap.

Sementara itu, arang kayu memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena struktur karbon aktifnya yang bersifat mikropori dan mampu mengikat partikel terlarut, termasuk logam seperti Fe. Kombinasi dua media ini menciptakan sistem penyaringan yang sinergis, di mana zeolit berfungsi menangkap ion logam di bagian awal, dan arang kayu menyempurnakan proses adsorpsi di lapisan selanjutnya.

Ketebalan media saring juga berperan penting dalam efektivitas penyaringan. Ketebalan 60 cm pada lapisan zeolit memberikan waktu kontak yang lebih lama antara air dan media saring, sehingga memungkinkan proses adsorpsi dan pertukaran ion terjadi secara maksimal. Semakin tebal media penyaring, semakin besar kapasitasnya dalam menangkap partikel pencemar sebelum mencapai jenuh. Demikian pula, ketebalan 30 cm pada arang kayu memberikan tambahan daya saring sekaligus memperpanjang jalur pergerakan air, yang meningkatkan peluang terjadinya kontak antar partikel logam dengan permukaan aktif arang. Hal ini sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh

Hasanah *et al.*, (2024) bahwa peningkatan ketebalan media penyaring dapat meningkatkan efisiensi penyisihan polutan karena memperbesar area kontak dan memperlambat aliran air, sehingga memungkinkan proses fisikokimia terjadi lebih optimal.

Dengan demikian, kombinasi zeolit setebal 60 cm dan arang kayu setebal 30 cm terbukti efektif dalam menurunkan kadar Fe pada air sumur bor. Hasil ini menunjukkan bahwa rancangan ketebalan media yang tepat berperan penting dalam mendukung proses penurunan kadar logam berat dan dapat dijadikan alternatif teknologi pengolahan air sederhana namun efisien di tingkat rumah tangga atau masyarakat.

2. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 60 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor

Upaya yang dilakukan untuk memanfaatkan kembali air yang tercemar yaitu dengan melakukan pembersihan daerah sumur, mengurangi pembuangan sampah secara sembarangan dan salah satunya adalah pemfilteran dengan menggunakan media seperti zeolit dan arang. Berdasarkan tabel 5.3 menunjukkan hasil pemeriksaan kadar besi (Fe) sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan media saring zeolit dengan ketebalan 60 cm dan arang kayu dengan ketebalan 60 cm. Berdasarkan hasil tersebut, kadar Fe awal pada setiap replikasi adalah sebesar 0,17 mg/l. Setelah proses penyaringan, hasil kadar Fe mengalami penurunan

dengan variasi yang cukup signifikan. Pada replikasi pertama (R1), kadar Fe turun menjadi 0,14 mg/l dengan persentase penurunan sebesar 17,64%. Sementara itu, pada replikasi kedua (R2) dan ketiga (R3), kadar Fe menurun lebih signifikan, masing-masing menjadi 0,06 mg/l dan 0,05 mg/l, dengan persentase penurunan sebesar 64,70% dan 70,58%. Rata-rata kadar Fe setelah penyaringan adalah 0,09 mg/l dengan rata-rata penurunan sebesar 0,08 mg/l atau 50,97%.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Qorina *et al.*, (2023) yang menunjukkan efektivitas kombinasi karbon aktif dari kulit pisang kepok dan zeolit dalam menurunkan kadar Fe dan Mn pada air sumur gali di Kelurahan Jati Utomo, Kota Binjai. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi media tersebut mampu menurunkan kadar Fe hingga 97,88%. Hal ini mendukung temuan dalam penelitian ini bahwa kombinasi media alami dapat digunakan sebagai media filtrasi yang efektif.

Penurunan kadar Fe ini menunjukkan bahwa kombinasi media zeolit dan arang kayu mampu menurunkan kandungan Fe dalam air sumur bor, meskipun efektivitasnya bervariasi antar replikasi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh distribusi aliran air dalam media, tingkat kejenuhan media, serta kemungkinan ketidakhomogenan struktur arang kayu yang digunakan. Ketebalan arang kayu yang ditingkatkan menjadi 60 cm bertujuan untuk memperpanjang waktu tinggal air dalam media penyaring,

sehingga diharapkan terjadi peningkatan efektivitas adsorpsi ion Fe. Arang kayu sendiri memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena mengandung karbon aktif dengan porositas yang besar, sehingga sangat ideal untuk menangkap logam berat.

Tetapi dibandingkan dengan hasil pada Tabel 5.1, efektivitas penurunan kadar Fe pada perlakuan ini sedikit lebih rendah (50,97%) dibandingkan kombinasi media dengan arang kayu setebal 30 cm (58,81%). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh resistensi aliran yang lebih besar akibat penambahan ketebalan arang kayu, yang dapat memperlambat laju filtrasi dan menyebabkan air mencari jalur aliran tercepat (*short-circuiting*), sehingga mengurangi efektivitas kontak air dengan media penyaring secara merata. Selain itu, adanya akumulasi partikel halus atau penyumbatan mikro dalam media yang lebih tebal juga dapat memengaruhi distribusi aliran dan kapasitas adsorpsi media.

Secara teori, menurut Sudiana (2016), efektivitas media penyaring dalam menurunkan logam berat sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia media, termasuk ketebalan, luas permukaan, dan struktur pori. Sementara menurut Putra *et al.* (2020), penggunaan arang aktif dalam ketebalan yang tepat dapat mengoptimalkan proses adsorpsi, tetapi peningkatan ketebalan secara berlebihan justru dapat menghambat laju penyaringan dan

menurunkan efisiensi. Dengan demikian, meskipun penambahan ketebalan arang kayu dimaksudkan untuk meningkatkan efektivitas, hasil menunjukkan bahwa ketebalan optimal perlu ditentukan secara cermat agar keseimbangan antara waktu tinggal, laju aliran, dan kapasitas adsorpsi dapat tercapai.

3. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 30 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor

Adanya zat Besi (Fe) di dalam air dapat menyebabkan gangguan kesehatan, menimbulkan bau dan warna yang tidak sedap, warna kuning di dinding bak mandi, kamar mandi dan bintik kuning di atas pakaian. Sehingga perlu dilakukan upaya pengolahan pada sumber air yang mengandung besi. Berdasarkan Tabel 5.4 menunjukkan hasil pemeriksaan kadar besi (Fe) sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan media saring zeolit dengan ketebalan 30 cm dan arang kayu dengan ketebalan 30 cm. Hasil awal kadar Fe pada ketiga replikasi adalah sama, yaitu 0,17 mg/l. Setelah melalui proses penyaringan, terjadi penurunan kadar Fe yang cukup signifikan. Pada replikasi pertama (R1), kadar Fe turun menjadi 0,09 mg/l dengan persentase penurunan sebesar 47,05%. Penurunan yang lebih tinggi tercatat pada replikasi kedua (R2) dan ketiga (R3), yaitu masing-masing sebesar 70,58% dan 88,23%.

Rata-rata kadar Fe setelah perlakuan adalah 0,05 mg/l, dengan rata-rata penurunan sebesar 0,11 mg/l atau 68,62%.

Sejalan dengan penelitian Ismawati *et al.*, (2018) menunjukkan bahwa zeolit yang dimodifikasi dapat menurunkan kadar besi secara signifikan dari 5 mg/l menjadi 0,5 mg/l. Sementara penelitian Haryanti *et al.*, (2022) yang menunjukkan bahwa Filter Multi Media Paralel yang menggunakan bahan zeolit dan arang mampu menurunkan kadar Besi (Fe) air sumur sebesar 94,44%. Berdasarkan dari penelitian terdahulu maka dapat diketahui bahwa temuan ini mengindikasikan bahwa zeolit merupakan adsorben alami yang sangat efektif untuk menurunkan logam berat dalam air, bergantung pada waktu kontak dan kondisi pengolahan. Menurut Pamungkas *et al.*, (2023) desain ketebalan media turut berkontribusi dalam memastikan efektivitas filtrasi. Oleh karena itu, kombinasi media saring zeolit dan arang kayu dengan ketebalan masing-masing 30 cm mampu menurunkan kadar Fe secara efektif. Penurunan ini lebih tinggi dibandingkan hasil pada Tabel 5.3 (ketebalan 60 cm), yang menunjukkan rata-rata penurunan hanya sebesar 50,97%. Efektivitas penyaringan yang lebih tinggi pada media dengan ketebalan 30 cm ini dapat disebabkan oleh distribusi aliran air yang lebih merata serta waktu tinggal yang lebih optimal, sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih efisien.

Secara teoritis, keberhasilan media penyaring dalam mengurangi logam berat seperti besi (Fe) bergantung pada struktur pori, luas permukaan, dan kondisi aliran. Zeolit dikenal sebagai material penyaring dengan kemampuan pertukaran ion yang tinggi, sementara arang kayu berperan sebagai adsorben karena memiliki struktur mikropori yang memungkinkan penyerapan logam secara efisien. Ketika ketebalan media tidak terlalu besar, seperti pada perlakuan 30 cm, aliran air dapat menjangkau seluruh bagian media secara merata tanpa menciptakan tekanan balik atau jalur aliran pendek (*short-circuiting*) yang dapat mengurangi efektivitas kontak antara air dan media penyaring.

Media penyaring dengan ketebalan yang terlalu besar justru dapat menimbulkan akumulasi partikel tersaring, menurunkan kecepatan filtrasi, dan menyebabkan penurunan efisiensi karena air akan mencari jalur tercepat untuk mengalir. Dalam konteks ini, ketebalan 30 cm tampaknya memberikan kondisi optimum antara waktu tinggal air dan ketersediaan permukaan adsorpsi, sehingga memungkinkan proses penyaringan yang lebih efisien dibandingkan dengan media yang lebih tebal. Dengan demikian, hasil pada Tabel 5.4 memperkuat anggapan bahwa penyesuaian ketebalan media sangat penting dalam desain sistem filtrasi, dan dalam kasus ini, ketebalan 30 cm untuk masing-masing media

zeolit dan arang kayu terbukti memberikan hasil yang lebih optimal dalam menurunkan kadar Fe dalam air.

4. Efektivitas Media Saring Zeolit Dengan Ketebalan 30 cm dan Arang Kayu Dengan Ketebalan 60 cm Dalam Menurunkan Kadar Fe Pada Air Sumur Bor

Berdasarkan tabel 5.5 menampilkan hasil pemeriksaan kadar besi (Fe) sebelum dan sesudah dilakukan proses filtrasi menggunakan media saring zeolit dengan ketebalan 30 cm dan arang kayu dengan ketebalan 60 cm. Nilai kadar Fe awal pada ketiga replikasi adalah sebesar 0,17 mg/l. Setelah proses penyaringan, terjadi penurunan kadar Fe dengan variasi yang berbeda-beda pada setiap replikasi. Pada replikasi pertama (R1), kadar Fe menurun menjadi 0,10 mg/l, yang menunjukkan penurunan sebesar 0,07 mg/l atau 41,17%. Replikasi kedua (R2) mengalami penurunan sebesar 0,10 mg/l (58,82%), dan replikasi ketiga (R3) menunjukkan penurunan paling tinggi yaitu sebesar 0,12 mg/l atau 70,58%. Secara keseluruhan, rata-rata kadar Fe setelah perlakuan adalah 0,07 mg/l dengan rata-rata penurunan sebesar 0,09 mg/l atau 57,04%.

Sejalan dengan penelitian Khulsum *et al.*, (2018) menunjukkan menunjukkan bahwa variasi ukuran media arang aktif dan zeolit mempengaruhi efektivitas penurunan kadar Fe pada air sumur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi media

dengan ukuran tertentu lebih efektif dalam menurunkan kadar Fe dibandingkan dengan ukuran lainnya. Penelitian Wardani *et al.*, (2021) juga menunjukkan bahwa efesiensi penyerapan logam berat besi pada air sumur bor menggunakan arang aktif limbah tulang kambing berkisar pada 88,45%-92,40%.

Temuan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan ketebalan arang kayu menjadi 60 cm, meskipun memberikan hasil yang cukup baik dalam menurunkan kadar Fe, namun tidak lebih efektif dibandingkan kombinasi ketebalan media pada Tabel 5.4 (30 cm zeolit dan 30 cm arang kayu), yang menunjukkan rata-rata penurunan sebesar 68,62%. Temuan ini didukung oleh teori Thinojah & Ketheesan (2022) yang mengemukakan bahwa ketebalan media yang berlebihan dapat menyebabkan tekanan balik dan memperburuk laju aliran.

Secara teoritis, efektivitas media penyaring tidak hanya ditentukan oleh ketebalan, tetapi juga oleh efisiensi waktu tinggal (*residence time*), distribusi aliran, dan kemungkinan terjadinya sumbatan. Ketebalan arang kayu yang lebih besar (60 cm) dapat menyebabkan peningkatan resistensi aliran, yang berpotensi menurunkan kecepatan filtrasi serta menyebabkan jalur aliran pendek (*short-circuiting*). Hal ini mengurangi waktu kontak antara air dan media, sehingga efektivitas adsorpsi ion Fe menjadi lebih rendah.

Menurut peningkatan ketebalan media penyaring memang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi, namun hanya sampai titik tertentu. Setelah melewati batas optimum, peningkatan ketebalan justru dapat menyebabkan kejenuhan media lebih cepat atau menghambat aliran air secara efisien. Oleh karena itu, hasil pada Tabel 5.5 mendukung pentingnya penyesuaian proporsional antara ketebalan media dan karakteristik aliran air untuk mencapai efisiensi maksimum dalam proses penyaringan.

Dengan demikian, meskipun penggunaan arang kayu dengan ketebalan 60 cm masih mampu menurunkan kadar Fe secara signifikan, namun efektivitasnya tidak sebaik media dengan ketebalan 30 cm, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat batasan optimum dalam penggunaan ketebalan media penyaring untuk proses penurunan kandungan logam berat seperti besi dalam air karena dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem penyaringan.

Kombinasi media saring zeolit dengan ketebalan 30 cm dan arang kayu dengan ketebalan 30 cm merupakan perlakuan yang paling efektif dalam menurunkan kadar besi (Fe) pada air sumur bor. Dari kadar awal sebesar 0,17 mg/l, kadar Fe menurun secara signifikan menjadi rata-rata 0,05 mg/l, dengan persentase penurunan mencapai 68,62%. Penurunan ini lebih tinggi

dibandingkan perlakuan tunggal arang tongkol jagung hingga ketebalan 60 cm yang hanya mampu menurunkan kadar Fe sebesar 52%.

Keberhasilan ini dapat dijelaskan melalui kombinasi dua mekanisme kerja penyaringan, yakni pertukaran ion oleh zeolit dan adsorpsi oleh arang kayu. Zeolit merupakan mineral aluminosilikat yang memiliki kapasitas tukar ion tinggi dan banyak digunakan dalam pengolahan air karena dapat menggantikan ion logam seperti Fe^{2+} dengan ion Na^+ atau K^+ pada struktur kisi kristalnya (Ismawati *et al.*, 2018). Sementara itu, arang kayu memiliki struktur mikropori luas dan gugus fungsi aktif seperti karboksil dan hidroksil yang memungkinkan penjerapan logam melalui ikatan fisikokimia (Haryanti *et al.*, 2022). Kombinasi keduanya memperbesar peluang ion logam besi tertangkap oleh media penyaring dalam satu lintasan filtrasi.

Ketebalan 30 cm pada masing-masing media juga diduga menjadi faktor penentu optimalisasi filtrasi, karena pada ketebalan ini air memiliki waktu tinggal (*residence time*) yang cukup lama untuk berinteraksi dengan seluruh permukaan media secara merata, namun tidak terlalu lama sehingga tidak menimbulkan tekanan balik atau penyumbatan yang dapat menurunkan efisiensi sistem. Ketebalan yang terlalu besar justru dapat menciptakan fenomena *short-circuiting* (aliran pintas), di mana air mencari jalur

tercepat dan tidak seluruh bagian media terlewati secara efektif, sehingga proses adsorpsi tidak berjalan maksimal. Ketika kombinasi zeolit dan arang kayu digunakan dalam ketebalan yang optimal (30:30 cm), maka terjadi keseimbangan antara kapasitas adsorpsi dan efisiensi aliran, sehingga hasil penyaringan menjadi lebih maksimal dibandingkan dengan penggunaan satu jenis media atau media yang terlalu tebal.

Berdasarkan hasil uji statistik dengan menggunakan uji *one-way ANOVA* diperoleh hasil *p-value* $0,004 < 0,05$ yang mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan dari empat perlakuan dalam penelitian ini. Sementara hasil uji *post hoc tukey* menunjukkan perlakuan media saring zeolit 60 cm dan arang kayu 30 cm dengan *p-value* $0,020 < 0,05$, perlakuan media saring zeolit 60 cm dan arang kayu 60 cm dengan *p-value* $0,045$, perlakuan media saring zeolit 30 cm dan arang kayu 30 cm dengan *p-value* $0,008$ dan perlakuan media saring zeolit 30 cm dan arang kayu 60 cm dengan *p-value* $0,004 < 0,05$. Sehingga dapat diketahui bahwa seluruh kombinasi perlakuan media saring memberikan hasil penurunan kadar Fe yang berbeda secara signifikan. Perlakuan dengan kombinasi zeolit 30 cm dan arang kayu 30 cm merupakan perlakuan yang paling efektif, dengan nilai penurunan kadar Fe tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi media dengan ketebalan yang seimbang dan

tidak terlalu tebal mampu memberikan waktu kontak yang optimal antara air dan media adsorben, sehingga proses penyaringan berjalan lebih efisien.

D. Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan dalam penelitian ini terletak pada karakterisasi media saring yang digunakan, yaitu zeolit dan arang kayu. Penelitian ini belum melakukan analisis mendalam terhadap sifat fisikokimia media, seperti ukuran pori, luas permukaan spesifik, kadar karbon aktif, dan kapasitas tukar ion yang dimiliki masing-masing bahan. Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi daya guna media saring dalam jangka panjang atau setelah digunakan berulang kali. Efektivitas penyaringan yang tinggi pada penggunaan awal belum tentu dapat bertahan dalam jangka waktu lama tanpa regenerasi atau penggantian media. Dan di harapkan kepada peneliti selanjutnya melakukan pengulangan agar hasilnya lebih baik.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengkaji ketahanan dan efisiensi media zeolit dan arang kayu dalam skala operasional yang lebih luas serta dalam kondisi penggunaan yang lebih mendekati situasi lapangan.