

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Hasil Penelitian**

##### **1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Bengkel Kerja Poltekkes Kemenkes Kupang dengan sumber air bersih berasal dari salah satu sumur bor milik warga di Kelurahan Naibonat, Kecamatan Kupang Timur, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Kelurahan Naibonat termasuk kedalam daerah Tanah Timor yang tanahnya didominasi dengan lapisan batuan koral *limestone* (karang) yang sangat porous sehingga menyebabkan air menjadi sadah. Hal tersebut juga dibuktikan oleh keluhan masyarakat yang kran airnya sering tersumbat dan berkerak warna putih. Selain itu terjadi endapan pada panci atau wajan masyarakat yang digunakan untuk memasak menggunakan air tersebut.

Menurut data dari Kelurahan Naibonat, jumlah sumur gali di Kelurahan Naibonat sebanyak 58 buah dan sumur bor sebanyak 1.500 buah. Meski demikian, air yang mereka gunakan masih mengandung tingkat kesadahan yang cukup tinggi dengan hasil pengujian kadar kesadahan pada salah satu sumur bor yang digunakan sebagai sampel sebesar 614,49 mg/L.

Pengolahan air yang dilakukan peneliti yaitu menggunakan metode filtrasi dengan media zeolit, resin kation dan gabungan dari zeolit dan resin kation. Kelompok eksperimen dibagi menjadi 3 variasi yaitu filter zeolit, filter resin kation dan filter gabungan dari zeolit dan resin kation. Debit aliran diatur 500ml/menit dengan filter zeolit setebal 14cm, filter resin kation setebal 14 cm

dan pada filter gabungan masing-masing zeolit dan resin kation setebal 7cm. Perlakuan dilakukan pengulangan 3 kali pada masing-masing filter. Sehingga seluruh sampel berjumlah 10 dengan rincian 1 sampel adalah air baku sebagai *pre* perlakuan serta 9 sampel adalah air hasil pengolahan filtrasi sebagai *post* perlakuan.

## 2. Hasil

### a. Analisis deskriptif

#### 1) Penurunan kesadahan air menggunakan filter zeolite

Aplikasi dari filtrasi menggunakan media zeolit ini yaitu filter berisi zeolit setebal 14cm dengan debit aliran air 500mg/L sebanyak 3 kali pengulangan. Setiap kali pengulangan dilakukan penggantian media filtrasi baru. Hasil pemeriksaan kesadahan sebagai berikut :

**Tabel 2**  
**Hasil Pemeriksaan Kesadahan Sebelum dan Setelah Pengolahan**  
**Menggunakan Media Zeolit**

| Pengulangan ke   | Kadar Kesadahan<br>(mg/L CaCO <sub>3</sub> ) |        | Selisih | Persentase penurunan (%) |
|------------------|----------------------------------------------|--------|---------|--------------------------|
|                  | Pre                                          | Post   |         |                          |
| I                | 614,49                                       | 272,46 | 342,03  | 55,66                    |
| II               | 614,49                                       | 266,67 | 347,82  | 56,60                    |
| III              | 614,49                                       | 266,67 | 347,82  | 56,60                    |
| <b>Jumlah</b>    | 1843,47                                      | 805,80 | 1037,67 | 168,87                   |
| <b>Rata-rata</b> | 614,49                                       | 268,60 | 345,89  | 56,29                    |

Berdasarkan data diatas dapat diketahui rata-rata kadar kesadahan sebelum pengolahan menggunakan filter dengan media zeolit adalah 614,49 mg/L turun menjadi 268,60 mg/L dengan selisih penurunan rata-rata sebesar 345,89 mg/L atau 56,29%. Penurunan terendah terjadi pada pengulangan pertama sedangkan penurunan tertinggi terjadi pada pengulangan ke 2 dan 3.

2) Penurunan kesadahan air menggunakan filter resin kation.

Aplikasi dari filtrasi menggunakan media resin kation ini yaitu filter berisi resin kation setebal 14cm dengan debit aliran air 500mg/L sebanyak 3 kali pengulangan. Setiap kali pengulangan dilakukan penggantian media filtrasi baru. Hasil pemeriksaan kesadahan sebagai berikut :

**Tabel 3**  
**Hasil Pemeriksaan Kesadahan Sebelum dan Setelah Pengolahan**  
**Menggunakan Media Resin Kation**

| Pengulangan ke   | Kadar Kesadahan<br>(mg/L CaCO <sub>3</sub> ) |        | Selisih | Persentase<br>penurunan (%) |
|------------------|----------------------------------------------|--------|---------|-----------------------------|
|                  | Pre                                          | Post   |         |                             |
| I                | 614,49                                       | 86,96  | 527,53  | 85,85                       |
| II               | 614,49                                       | 75,36  | 539,13  | 87,74                       |
| III              | 614,49                                       | 86,96  | 527,53  | 85,85                       |
| <b>Jumlah</b>    | 1843,47                                      | 249,28 | 1594,19 | 259,43                      |
| <b>Rata-rata</b> | 614,49                                       | 83,09  | 531,40  | 86,48                       |

Berdasarkan data diatas dapat diketahui rata-rata kadar kesadahan sebelum pengolahan menggunakan filter dengan media resin kation adalah 614,49 mg/L turun menjadi 83,09 mg/L dengan selisih penurunan rata-rata sebesar 531,40 mg/L atau 86,48%. Penurunan terendah terjadi pada pengulangan ke 1 dan 3 sedangkan penurunan tertinggi terjadi pada pengulangan ke 2.

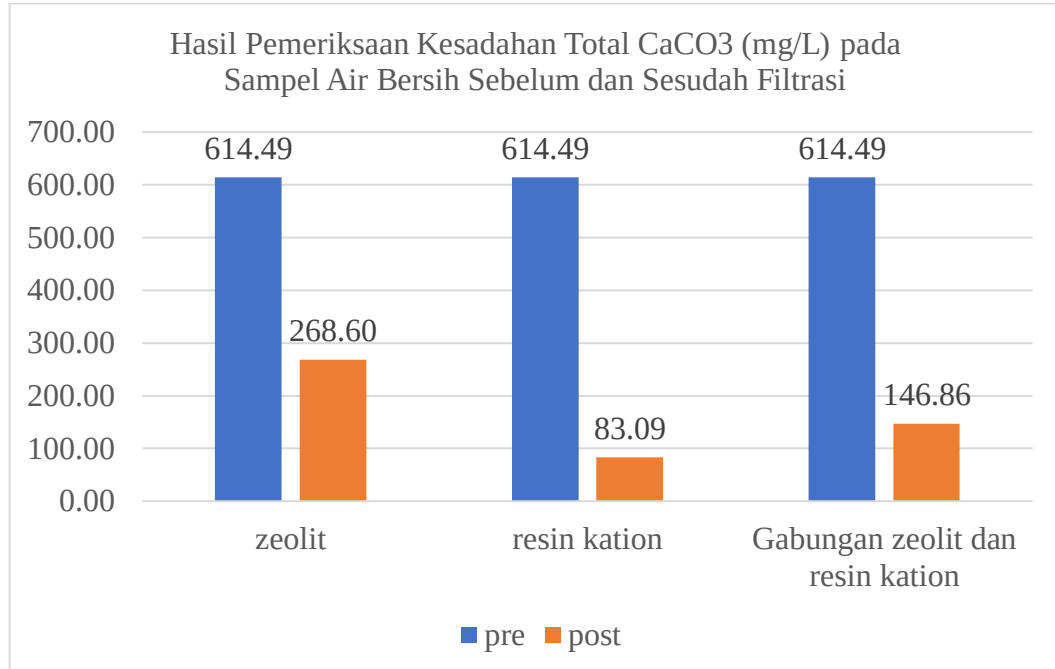
3) Penurunan kesadahan air menggunakan *layering* dari zeolite-resin kation.

Aplikasi dari filtrasi menggunakan media gabungan resin kation dan zeolit ini yaitu filter berisi resin kation dan zeolit masing-masing setebal 7cm dengan debit aliran air 500mg/L sebanyak 3 kali pengulangan. Setiap kali pengulangan dilakukan penggantian media filtrasi baru. Hasil pemeriksaan kesadahan sebagai berikut :

**Tabel 4**  
**Hasil Pemeriksaan Kesadahan Sebelum dan Setelah Pengolahan**  
**Menggunakan Media Gabungan Zeolit dan Resin Kation**

| Pengulangan ke   | Kadar Kesadahan<br>(mg/L CaCO <sub>3</sub> ) |        | Selisih | Persentase<br>penurunan (%) |
|------------------|----------------------------------------------|--------|---------|-----------------------------|
|                  | Pre                                          | Post   |         |                             |
| I                | 614,49                                       | 162,32 | 452,17  | 73,58                       |
| II               | 614,49                                       | 162,32 | 452,17  | 73,58                       |
| III              | 614,49                                       | 115,94 | 498,55  | 81,13                       |
| <b>Jumlah</b>    | 1843,47                                      | 440,58 | 1402,89 | 228,30                      |
| <b>Rata-rata</b> | 614,49                                       | 146,86 | 467,63  | 76,10                       |

Berdasarkan data diatas dapat diketahui rata-rata kadar kesadahan sebelum pengolahan menggunakan filter dengan media gabungan zeolit dan resin kation adalah 614,49 mg/L turun menjadi 146,86 mg/L dengan selisih penurunan rata-rata sebesar 467,63 mg/L atau 76,10%. Penurunan terendah terjadi pada pengulangan ke 1 dan 2 sedangkan penurunan tertinggi terjadi pada pengulangan ke 3.



**Gambar 5 Kadar kesadahan total CaCO<sub>3</sub> (mg/L) sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan filter**

b. Analisis Inferensial

### 1) Uji Normalitas

Data pemeriksaan laboratorium kemudian dilakukan uji normalitas *Shapiro Wilk* menggunakan aplikasi komputer. Data berdistribusi normal apabila nilai signifikansi  $>0,05$  dan berdistribusi tidak normal apabila nilai signifikansi  $<0.05$ . Adapun hasil uji normalitas dari data laboratorium nilai signifikansinya  $<0.001$  sehingga data berdistribusi tidak normal. Hal ini salah satunya disebabkan oleh kecilnya jumlah sampel yaitu hanya 3 pada masing-masing kelompok pengujian.

**Tabel 5**  
**Hasil Uji Normalitas**

|               | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |      | Shapiro-Wilk |    |       |
|---------------|---------------------------------|----|------|--------------|----|-------|
|               | Statistic                       | df | Sig. | Statistic    | df | Sig.  |
| filter zeolit | .385                            | 3  | .    | .750         | 3  | <.001 |
| filter resin  | .385                            | 3  | .    | .750         | 3  | <.001 |
| filter mix    | .385                            | 3  | .    | .750         | 3  | <.001 |

a. Lilliefors Significance Correction

### 2) Uji Homogenitas

Data pemeriksaan laboratorium kemudian dilakukan uji homogenitas menggunakan aplikasi komputer. Data berdistribusi homogen apabila nilai signifikansi  $>0,05$  dan berdistribusi tidak homogen apabila nilai signifikansi  $<0.05$ . Adapun hasil uji normalitas dari data laboratorium nilai signifikansinya 0.012 sehingga data berdistribusi tidak homogen. Hal ini salah satunya disebabkan oleh kecilnya jumlah sampel yaitu hanya 3 pada masing-masing kelompok pengujian.

**Tabel 6**  
**Hasil Uji Homogenitas**

| <b>Tests of Homogeneity of Variances</b> |                                      |                  |     |       |      |
|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----|-------|------|
|                                          |                                      | Levene Statistic | df1 | df2   | Sig. |
| penurunan kesadahan                      | Based on Mean                        | 9.972            | 2   | 6     | .012 |
|                                          | Based on Median                      | .623             | 2   | 6     | .568 |
|                                          | Based on Median and with adjusted df | .623             | 2   | 2.315 | .607 |
|                                          | Based on trimmed mean                | 7.855            | 2   | 6     | .021 |

### 3) Uji Kruskal-Wallis H Test

Uji statistik yang digunakan adalah Kruskal-Wallis H Test karena jumlah pengulangan pada masing-masing media filter terbatas yaitu  $n=3$ , sehingga asumsi normalitas dan homogenitas varians pada uji parametrik One-Way ANOVA tidak dapat terpenuhi. Kruskal-Wallis merupakan uji non-parametrik yang membandingkan distribusi data antar kelompok berdasarkan peringkat, sehingga lebih sesuai untuk data dengan ukuran sampel kecil.

Berdasarkan uji Kruskal-Wallis pada data penurunan kesadahan air sumur bor setelah dilakukan filtrasi dengan masing-masing media, diperoleh nilai signifikansi 0,025 ( $p < 0,05$ ), sehingga  $H_0$  ditolak. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan signifikan kinerja penurunan kesadahan antar ketiga media filter. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme adsorpsi dan pertukaran ion pada masing-masing media. Resin kation memiliki gugus fungsional yang lebih spesifik dalam mengikat ion kalsium dan magnesium penyebab kesadahan, sehingga menunjukkan kinerja yang lebih optimal dibandingkan zeolit.

**Tabel 7**  
**Hasil Uji Kruskal-Wallis H Test**

| Hypothesis Test Summary |                                                                                        |                                         |                     |                             |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
|                         | Null Hypothesis                                                                        | Test                                    | Sig. <sup>a,b</sup> | Decision                    |
| 1                       | The distribution of penurunan kesadahan is the same across categories of media filter. | Independent-Samples Kruskal-Wallis Test | .025                | Reject the null hypothesis. |

a. The significance level is .050.

b. Asymptotic significance is displayed.

Uji Kruskal-Wallis menunjukkan adanya perbedaan signifikan kinerja penurunan kesadahan antar ketiga media filter ( $p = 0,025$ ). Hasil uji lanjut pairwise comparison dengan koreksi Bonferroni menunjukkan bahwa perbedaan signifikan hanya terjadi antara media Zeolit dan Resin Kation (Adj. Sig. = 0,020). Sementara itu, media kombinasi Zeolit dan Resin Kation tidak berbeda signifikan dengan Zeolit (Adj. Sig. = 0,523) maupun dengan Resin Kation (Adj. Sig. = 0,523). Hal ini menunjukkan bahwa untuk penurunan kesadahan pada air sumur bor, penggunaan Resin Kation secara tunggal sudah memberikan kinerja yang lebih optimal dibandingkan Zeolit. Penambahan Zeolit pada kombinasi belum memberikan peningkatan efektivitas yang signifikan secara statistik pada kondisi penelitian ini.

**Tabel 8**  
**Hasil Uji Pairwise Comparison**

| Pairwise Comparisons of media filter |                |            |                     |      |                        |
|--------------------------------------|----------------|------------|---------------------|------|------------------------|
| Sample 1-Sample 2                    | Test Statistic | Std. Error | Std. Test Statistic | Sig. | Adj. Sig. <sup>a</sup> |
| zeolit-zeolit dan resin kation       | -3.000         | 2.208      | -1.359              | .174 | .523                   |
| zeolit-resin kation                  | -6.000         | 2.208      | -2.717              | .007 | .020                   |
| zeolit dan resin kation-resin kation | 3.000          | 2.208      | 1.359               | .174 | .523                   |

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .050.

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

## B. Pembahasan

Pengolahan air bersih yang dikonsumsi oleh masyarakat Kelurahan Naibonat sebagian besar dilakukan dengan cara merebusnya. Sumber air bersih yang digunakan berasal dari sumur gali dan sumur bor. Menurut data dari kelurahan naibonat, jumlah sumur gali di Kelurahan Naibonat sebanyak 58 buah dan sumur bor sebanyak 1.500 buah. Meski demikian, air yang mereka gunakan masih mengandung tingkat kesadahan yang cukup tinggi. Hal tersebut ditunjukkan oleh adanya endapan putih pada panci yang digunakan untuk memasak serta ditemukan kerak putih pada perpipaan dan kran air.

Pada penelitian ini, peneliti melakukan filtrasi air bersih menggunakan media filter berupa zeolit, resin kation dan gabungan dari zeolit dan resin kation yang bertujuan untuk menurunkan kesadahan pada air bersih. Tahap pertama yang dilakukan adalah mengambil air sampel salah satu sumur warga di Kelurahan Naibonat kemudian merangkai alat seperti pada desain di Bengkel Kerja Poltekkes Kemenkes Kupang. Filter dirangkai dari *cartridge* yang berisi media filter kemudian dimasukkan ke dalam *housing filter*. *Cartridge* pertama diisi dengan 14cm zeolite, *cartridge* kedua diisi dengan 14cm resin kation dan *cartridge* ketiga diisi dengan 7cm zeolite dan 7cm resin kation. Filter tersebut kemudian disambungkan dengan ember 80L sebagai tempat penyimpanan air sebelum di filtrasi menggunakan pipa. Setelah alat dirangkai kemudian air sampel diisi pada ember 80L dan dialirkan pada filter dengan kecepatan aliran 500ml/menit. Debit aliran 500ml/menit apabila dialirkan selama 24jam maka didapatkan hasil filtrasi sebanyak 720L. Jika 1 keluarga diasumsikan 5 orang anggota keluarga maka 1 orang mendapatkan 144 liter. Standar kebutuhan air bersih menurut menurut

Bappenas dan Ditjen Cipta Karya Kementerian PUPR di daerah pedesaan sekitar 60 liter. Sehingga jumlah 144 liter masih memenuhi syarat yang diperbolehkan.

Sebelum membahas mengenai penurunan kesadahan pada filtrasi menggunakan filter dengan media zeolite, resin kation dan gabungan dari zeolite dan resin kation akan dibahas terlebih dahulu mengenai kesadahan. Kesadahan adalah tingkat kekerasan air yang pada umumnya disebabkan oleh unsur  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  (Waangsir *et al.*, 2024). Air tanah dengan beberapa kandungan metal terlarut Na, Mg, Ca dan Fe. Jika air tanah kemudian mengandung logam dengan jumlah tinggi maka akan menyebabkan air menjadi sadah (Surati, Supriyadi and Setiawan, 2019). Penelitian di wilayah pedesaan di Cina menunjukkan dengan kadar hardness air minum tinggi, prevalensi batu ginjal jauh lebih tinggi dan total hardness air menjadi salah satu faktor yang berkorelasi dengan risiko batu ginjal (Zhao *et al.*, 2024). Kadar kalsium urin yang terkumpul dalam waktu lama akan menjadi penyebab awal gejala penyakit batu saluran kemih (Sa'adah *et al.*, 2021).

#### **1. Penurunan kesadahan air menggunakan filter zeolite.**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media zeolit mampu menurunkan kesadahan air dari 614,49 mg/L menjadi rata-rata 268,60 mg/L dengan efektivitas penurunan sebesar 56,29%. Penurunan ini terjadi karena zeolit memiliki kemampuan adsorpsi serta pertukaran ion, terutama terhadap ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) yang menjadi penyebab utama kesadahan air. Struktur zeolit yang berpori dan bermuatan negatif memungkinkan terjadinya proses penjerapan ion positif tersebut. Menurut WHO (2011), air minum dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat kesadahannya. Kesadahan  $\text{CaCO}_3$  <60 mg/L disebut air lunak, 60–120 mg/L

air agak sadah, 120–180 mg/L air sadah, dan >180 mg/L air sangat sadah. Hasil akhir menunjukkan bahwa air yang dilakukan filtrasi menggunakan media zeolit masih berada pada kategori sadah menurut WHO, sehingga efektivitas zeolit tergolong cukup namun belum optimal dibandingkan media lainnya. Apabila dibandingkan dengan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 variasi filter zeolite sudah mampu menurunkan kesadahan air bersih dari yang tidak memenuhi syarat yaitu sebesar 614,49 mg/L menjadi memenuhi syarat yaitu sebesar 268.6 mg/L.

## **2. Penurunan kesadahan air menggunakan filter resin kation.**

Penggunaan media resin kation menunjukkan hasil paling efektif dalam penelitian ini, yaitu mampu menurunkan kesadahan dari 614,49 mg/L menjadi 83,09 mg/L dengan efektivitas sebesar 86,48%. Hal ini disebabkan oleh sifat resin kation yang memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi serta selektivitas yang kuat terhadap ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Resin kation bekerja dengan menukar ion penyebab kesadahan dengan ion lain yang terdapat dalam struktur resin. Selain itu, resin kation relatif tidak dipengaruhi oleh kondisi pH air sehingga kinerjanya lebih stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa resin kation mampu menghasilkan air dengan kualitas yang lebih baik dan mendekati kategori air lunak. Menurut WHO (2011), air minum dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat kesadahannya. Kesadahan  $\text{CaCO}_3$  <60 mg/L disebut air lunak, 60–120 mg/L air agak sadah, 120–180 mg/L air sadah, dan >180 mg/L air sangat sadah. Sehingga dari hasil penyaringan menggunakan filter resin kation dapat dikatakan aman dikonsumsi yaitu sebesar 83,09 mg/L. Apabila dibandingkan dengan Permenkes RI No. 32

Tahun 2017 maka variasi filter resin kation tersebut sudah mampu menurunkan kesadahan air bersih dari yang tidak memenuhi syarat yaitu sebesar 614,49 mg/L menjadi memenuhi syarat yaitu sebesar 83,09 mg/L.

### **3. Penurunan kesadahan air menggunakan filter gabungan dari zeolite-resin kation.**

Hasil penggunaan media gabungan zeolit dan resin kation menunjukkan penurunan kesadahan menjadi rata-rata 146,86 mg/L dengan efektivitas sebesar 76,10%. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua media tetap mampu menurunkan kesadahan secara signifikan. Mekanisme kerja kombinasi ini menggabungkan proses adsorpsi oleh zeolit dan pertukaran ion oleh resin kation. Namun, efektivitasnya masih lebih rendah dibandingkan penggunaan resin kation secara tunggal, yang diduga karena adanya dominasi kerja resin dalam sistem filtrasi berlapis (*layering*). Menurut WHO (2011), air minum dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat kesadahannya. Kesadahan  $\text{CaCO}_3$  <60 mg/L disebut air lunak, 60–120 mg/L air agak sadah, 120–180 mg/L air sadah, dan >180 mg/L air sangat sadah. Sehingga dari hasil penyaringan menggunakan filter *layering* resin kation dan zeolit masih dikatakan sadah yaitu sebesar 146,86 mg/L. Apabila dibandingkan dengan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 maka variasi filter *layering* resin kation dan zeolit tersebut sudah mampu menurunkan kesadahan air bersih dari yang tidak memenuhi syarat yaitu sebesar 614,49 mg/L menjadi memenuhi syarat yaitu sebesar 146,86 mg/L.

#### **4. Analisis Penurunan kesadahan air menggunakan filter zeolite.**

Secara mekanisme, zeolit bekerja melalui proses pertukaran ion dan adsorpsi pada permukaan pori-porinya. Kandungan aluminium dalam struktur zeolit memberikan muatan negatif yang mampu menarik ion positif seperti  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Namun, kapasitas pertukaran ion zeolit relatif lebih terbatas dibandingkan resin kation, sehingga efektivitas penurunan kesadahan juga lebih rendah. Hal ini terlihat dari hasil akhir yang masih berada pada kategori air sadah. Setelah digunakan untuk filtrasi maka kemampuan pertukaran ion yang dilakukan resin zeolite dapat menurun, oleh karena itu maka diperlukan reaktifasi apabila akan digunakan kembali. Menurut Trisunaryati (2018) aktivasi zeolite dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara fisika dan kimia. Secara fisika dilakukan dengan kalsinasi/pemanasan sedangkan secara kimia dilakukan dengan penambahan asam seperti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , HF,  $\text{HNO}_3$  dan HCl dan basa seperti NaOH. Keduanya bertujuan untuk membersihkan pori-pori zeolite sehingga dapat digunakan untuk pertukaran ion kembali

#### **5. Analisis Penurunan kesadahan air menggunakan filter resin kation**

Resin penukar ion adalah senyawa hidrokarbon terpolimerisasi tinggi mengandung ikatan hubung silang dan gugus yang mengandung ion yang dapat ditukar (Waangsir et al., 2024). Resin kation memiliki kemampuan tinggi dalam menurunkan kesadahan air karena mekanisme kerjanya yang spesifik dalam pertukaran ion. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam air akan ditukar dengan ion lain yang terdapat pada resin, sehingga konsentrasi ion penyebab kesadahan dapat berkurang secara signifikan. Keunggulan lainnya adalah

stabilitas resin yang tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi kimia air seperti pH, sehingga proses filtrasi menjadi lebih konsisten dan efektif. Setelah digunakan untuk filtrasi maka kemampuan pertukaran ion yang dilakukan resin zeolite dapat menurun, oleh karena itu maka diperlukan reaktifasi apabila akan digunakan Kembali. Regenerasi resin kation dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam kuat seperti HCl atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk menukar kembali kation pengotor dengan ion H<sup>+</sup>, atau larutan garam (NaCl) untuk pelunakan.

#### **6. Analisis Penurunan kesadahan air menggunakan filter gabungan dari zeolite dan resin kation.**

Penggunaan kombinasi zeolit dan resin kation dalam penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas proses filtrasi air dengan memanfaatkan dua mekanisme utama yang berbeda, yaitu adsorpsi oleh zeolit dan pertukaran ion oleh resin kation. Secara teori, kombinasi kedua media ini diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih optimal karena zeolit mampu melakukan penyaringan awal terhadap ion-ion tertentu, sementara resin kation melanjutkan proses pengikatan ion kalsium (Ca<sup>2+</sup>) dan magnesium (Mg<sup>2+</sup>) yang menjadi penyebab utama kesadahan air. Oleh karena itu, sistem kombinasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penurunan kesadahan secara keseluruhan. Namun hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan efektivitas pada media kombinasi tidak lebih signifikan dibandingkan penggunaan resin kation secara tunggal. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam sistem filtrasi berlapis (layering), resin kation memiliki peran yang lebih dominan dalam proses penurunan kesadahan air dibandingkan zeolit.

Dominasi tersebut kemungkinan disebabkan oleh kapasitas pertukaran ion resin kation yang lebih tinggi serta selektivitasnya yang lebih kuat terhadap ion penyebab kesadahan. Sementara itu, kontribusi zeolit dalam sistem kombinasi menjadi kurang optimal karena sebagian besar ion telah terlebih dahulu atau langsung ditangani oleh resin kation pada tahap berikutnya. Dengan demikian, dalam kondisi penelitian ini, penambahan zeolit tidak memberikan peningkatan yang signifikan terhadap efektivitas penurunan kesadahan air.

**7. Analisis perbedaan penurunan kesadahan air menggunakan media filter zeolite, resin kation dan filter gabungan zeolite dan resin kation.**

Berdasarkan uji statistik yang dilakukan menggunakan Uji Kruskal-Wallis menunjukkan adanya perbedaan signifikan kinerja penurunan kesadahan antar ketiga media filter ( $p = 0,025$ ). Hasil uji lanjut pairwise comparison dengan koreksi Bonferroni menunjukkan bahwa perbedaan signifikan hanya terjadi antara media Zeolit dan Resin Kation (Adj. Sig. = 0,020). Hal ini menunjukkan bahwa untuk penurunan kesadahan pada air sumur bor, penggunaan Resin Kation secara tunggal sudah memberikan kinerja yang lebih optimal dibandingkan Zeolit. Penambahan Zeolit pada kombinasi belum memberikan peningkatan efektivitas yang signifikan secara statistik pada kondisi penelitian ini.

Kelebihan resin kation pada media yang digunakan untuk filtrasi dibandingkan dengan media zeolit yaitu karena tidak terpengaruh oleh derajat keasaman serta kapasitas pertukaran ionnya lebih tinggi. Karena kedua hal tersebut sehingga resin kation dapat mereduksi kesadahan dengan baik.

Menurut Somya and Khan (2025), resin penukar ion sintetis memiliki karakteristik kapasitas pertukaran ion dan selektivitas yang tinggi sehingga efektif digunakan dalam proses pengolahan air dan penghilangan ion pencemar.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurniawati (2019) yaitu turunnya kesadahan pada air bersih dengan menggunakan filtrasi resin kation yaitu sebesar 89,33%. Selain itu juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan dkk (2021) yang meneliti menggunakan saringan Tipe A (karbon aktif 5 cm, resin kation 14,5 cm) mampu menurunkan kadar kesadahan 72,93% dan Tipe B (karbon aktif 5 cm, zeolite 9,5 cm, resin kation 5 cm) mampu menurunkan kadar kesadahan 67,58%. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Kurniani dkk (2024) dengan hasil penelitian yaitu waktu kontak yang efektif filtrasi media resin kation dan zeolit terhadap kadar kesadahan air sumur gali sesudah dilakukan filtrasi yaitu selama 30 menit dengan penurunan sebesar 56,16%.

Persamaan penelitian ini dengan penelitian Kurniawati (2019), Kurniawan dkk. (2021), dan Kurniani dkk. (2024) adalah sama-sama bertujuan untuk menurunkan kadar kesadahan air menggunakan media yang memiliki kemampuan pertukaran ion, yaitu resin kation dan zeolit. Hasil dari seluruh penelitian tersebut menunjukkan bahwa media filtrasi tersebut efektif dalam menurunkan kadar kesadahan air karena mampu mengikat atau menukar ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) yang merupakan penyebab utama kesadahan.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada susunan dan kombinasi media filtrasi yang digunakan. Kurniawati (2019) menggunakan

media resin kation sebagai media utama filtrasi, sedangkan Kurniawan dkk. (2021) menggunakan kombinasi karbon aktif, resin kation, dan zeolit dengan susunan media yang berbeda pada masing-masing tipe filter. Sementara itu, Kurniani dkk. (2024) meneliti efektivitas media resin kation dan zeolit berdasarkan variasi waktu kontak filtrasi. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi perlakuan, yaitu filtrasi menggunakan zeolit, resin kation, dan kombinasi zeolit-resin kation untuk mengetahui media yang paling efektif dalam menurunkan kadar kesadahan air sumur bor. Selain itu, sumber air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sumur bor, sedangkan penelitian sebelumnya menggunakan air bersih atau air sumur gali. Perbedaan susunan media filtrasi, ketebalan media, waktu kontak, serta karakteristik sumber air yang digunakan dapat menyebabkan perbedaan efektivitas penurunan kesadahan pada setiap penelitian. Meskipun demikian, hasil penelitian ini tetap menunjukkan bahwa penggunaan zeolit dan resin kation berpotensi sebagai media filtrasi yang efektif dalam mengurangi kadar kesadahan air.

Selain penelitian sejenis diatas, penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Jayanti (2018) yang menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi pasir kuarsa dan batu zeolit efektif menurunkan kadar besi (Fe) pada air sumur gali. Pada penelitian tersebut, ketebalan media pasir kuarsa 30 cm dan batu zeolit 30 cm merupakan perlakuan yang paling efektif dengan efektivitas penurunan kadar Fe sebesar 73,30%. Kesamaan hasil penelitian ini dengan penelitian Jayanti (2018) diduga karena media zeolit memiliki kemampuan adsorpsi dan pertukaran ion yang baik sehingga dapat mengurangi kandungan mineral dalam air. Meskipun parameter yang diteliti berbeda, yaitu kadar besi (Fe)

pada penelitian Jayanti dan kesadahan total pada penelitian ini, kedua penelitian menunjukkan bahwa penggunaan zeolit sebagai media filtrasi berperan dalam meningkatkan kualitas air. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian Jayanti (2018) terletak pada parameter yang diperiksa dan media perlakuan yang digunakan. Penelitian Jayanti menggunakan kombinasi pasir kuarsa dan zeolit untuk menurunkan kadar Fe, sedangkan penelitian ini menggunakan zeolit, resin kation, serta kombinasi zeolit dan resin kation untuk menurunkan kesadahan yang disebabkan oleh ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Resin kation diperkirakan memberikan efektivitas yang lebih tinggi karena bekerja melalui mekanisme pertukaran ion yang secara spesifik menghilangkan ion penyebab kesadahan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat menjadi pertimbangan dalam interpretasi hasil dan pengembangan penelitian selanjutnya. Keterbatasan yang pertama yaitu setiap perlakuan hanya dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, sehingga jumlah data yang diperoleh masih relatif terbatas. Kondisi ini berpotensi memengaruhi tingkat ketelitian hasil penelitian dan kemampuan dalam menggambarkan variasi data yang sebenarnya. Keterbatasan yang kedua yaitu penggunaan media gabungan zeolit dan resin kation dalam penelitian ini dilakukan dengan metode penyusunan berlapis atau *layering*, yaitu zeolit setebal 7 cm dan resin kation setebal 7 cm yang ditempatkan secara berturut-turut dalam cartridge filter. Penelitian ini belum mengevaluasi efektivitas media gabungan yang dicampurkan secara homogen (*mixed media*), sehingga perbandingan kinerja antara konfigurasi berlapis dan campuran belum dapat dilakukan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengkaji

pengaruh variasi susunan media terhadap efektivitas penurunan kesadahan air sumur bor.

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan media resin kation terbukti efektif dalam menurunkan tingkat kesadahan pada air bersih. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat dapat memanfaatkan media resin kation sebagai salah satu alternatif pengolahan air sederhana untuk memperoleh kualitas air yang lebih baik. Selain itu, penggunaan filter yang berisi resin kation dengan debit aliran 500 ml/menit terbukti memberikan hasil yang optimal dalam menurunkan kadar kesadahan, sehingga metode ini dapat diaplikasikan dalam skala rumah tangga sebagai upaya penyediaan air bersih yang lebih aman dan layak digunakan.

Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian terkait efektivitas media resin kation dalam pengolahan air. Peneliti lain dapat menambahkan variabel penelitian berupa lama waktu penggunaan media filter hingga mencapai kondisi jenuh, sehingga dapat diketahui batas efektivitas media dalam proses penyaringan. Selain itu, variasi waktu atau debit aliran yang lebih cepat maupun lebih lambat juga dapat diteliti lebih lanjut guna mengetahui tingkat efektivitas penyaringan dalam menurunkan kesadahan air secara lebih optimal.