

Reduksi Kesadahan Air Tanah Menggunakan Ion Exchange Dengan Resin Amberlite IR 120 Na (Studi Kasus: Sistem Penyediaan Air di PT. Sri Rejeki Isman Sukoharjo)

Setiawan¹, Elvis Umbu Lolo^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Teknologi Solo, Indonesia

*eumbulolo@yahoo.co.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 1-8-2024
Revised: 20-9-2024
Accepted: 1-10-2024
Available online: 25-10-2024

ABSTRAK

Air tanah biasanya sudah memenuhi persyaratan, namun seringkali parameter kesadahan diabaikan karena cukup dipanaskan sudah mengendap padahal kesadahan larut dalam air dan jika konsentrasinya tinggi tidak dapat diendapkan. Tujuan dari penelitian ini untuk memperoleh data dan informasi mengenai kemampuan resin pada *softener* dalam menurunkan atau menghilangkan kesadahan dan tingkat efisiensi pengolahan yang dilakukan. Air baku yang mempunyai tingkat kesadahan yang tinggi diolah dengan metode kimia yaitu *ion exchange* (pertukaran ion), sehingga diperoleh air bersih selanjutnya dilakukan analisa di laboratorium dengan metode analisa titrimetri EDTA. Hasil dari analisa berupa data diolah dengan cara perhitungan numerik. Metode penelitian menggunakan dua variabel yaitu waktu proses (1,2,3,4,5 jam) dan variabel ketebalan media resin (30,40 dan 50 cm) sebagai variabel bebas. Tingkat kesadahan yang tinggi pada air tanah sebagai variabel terikat. Hasil yang diperoleh untuk air baku mempunyai tingkat kesadahan sebesar 520 mg/l, setelah air baku diolah diperoleh penurunan tingkat kesadahan tertinggi sebagai berikut: untuk ketebalan 30 cm diperoleh tingkat kesadahan 213,33 mg/l dengan efisiensi pengolahan sebesar 58,98%, untuk ketebalan 40 cm diperoleh tingkat kesadahan 46,66 mg/l dengan efisiensi pengolahan sebesar 71,80%, untuk ketebalan 50 cm diperoleh tingkat kesadahan 93,33 mg/l dengan efisiensi pengolahan sebesar 82,05%. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan ketebalan resin sangat mempengaruhi penurunan tingkat kesadahan dan efisiensi pengolahan.

KATA KUNCI: air tanah; *ion exchange*; kesadahan; reduksi

ABSTRACT

Ground water usually meets the above requirements, but often the hardness parameter is ignored because it is sufficiently heated to precipitate even though hardness is soluble in water and if the concentration is high it cannot be deposited. The purpose of this study is to obtain data and information about the ability of the resin in the softener to reduce or eliminate hardness and the level of efficiency of the processing carried out. Raw water that has a high level of hardness is treated by chemical methods, namely ion exchange, so that clean water is obtained then it is analyzed in a laboratory with EDTA titrimetric analysis method to determine the level of hardness in raw water. The results of the analysis in the form of data are processed by means of numerical calculations. The research method uses two variables, namely processing time (1,2,3,4,5 hours) and resin media thickness (30,40 and 50 cm) as independent variables. High hardness level in ground water as the dependent variable. The results obtained for raw water have a hardness level of 520 mg / l, after processing raw water the highest level of hardness is obtained as follows: for a thickness of 30 cm obtained a hardness level of 213.33 mg / l with a processing efficiency of 58.98%, for a thickness of 40 cm obtained a hardness level of 46.66 mg / l with a processing efficiency of 71.80%, for a thickness of 50 cm obtained a hardness level of 93.33 mg / l with a processing efficiency of 82.05%. Based on this study

it can be concluded that each the addition of resin thickness greatly influences the level of hardness and processing efficiency

KEYWORDS: ground water; ion exchange; hardness; reduction



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

1. PENDAHULUAN

Air tanah dan air permukaan yang mengandung polutan dan membahayakan kesehatan manusia perlu diolah dengan teknologi pengolahan air, dan salah satu parameter polutan dalam air adalah kesadahan air [1]. Kesadahan air adalah kondisi dimana konsentrasi kapur berada dalam jumlah yang berlebihan. Ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} akan bereaksi dengan sabun menghasilkan endapan yang mampu menghasilkan kerak pada peralatan besi dan logam [2]. Berdasarkan jenis anion yang diikat oleh kation (Ca^{2+} atau Mg^{2+}), air sadah digolongkan menjadi dua jenis, yaitu air sadah sementara dan air sadah tetap [3][4]. Air sadah sementara adalah air sadah yang mengandung ion bikarbonat (HCO_3^-), khususnya kalsium bikarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) dan atau magnesium bikarbonat ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) [5]. Salah satu teknik pengolahan air yang dipergunakan dalam menghilangkan kesadahan air adalah dengan metode pertukaran ion [6]. Pertukaran ion adalah proses menghilangkan kation maupun anion yang tidak diinginkan pada air. Kation akan ditukar oleh ion Hidrogen atau Natrium dan anion ditukar dengan ion-ion Hidroksil [7]. Berbagai jenis operasi di industri membutuhkan air yang disebut air industri. Air industri ini meliputi: air proses, air umpan boiler, air pendingin (*cooling water*), air sanitasi dan air limbah. Kelima jenis air ini memerlukan tingkat pengolahan yang berbeda dan secara umum tingkat pengolahan air industri, akan tergantung pada sumber air dari mana air baku diambil dan juga maksud penggunaan terhadap air hasil olahan tersebut. Pada prinsipnya, pengolahan air bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi zat yang terkandung dalam air yang berada dalam bentuk terlarut (ion), bentuk tersuspensi ataupun bentuk koloid hingga dicapai kualitas air yang memenuhi dengan persyaratan sesuai dengan maksud penggunaannya. Persyaratan Kualitas Air Minum menyatakan bahwa nilai kesadahan air minimal 500 mg/l. Standar inilah yang bisa dipakai sebagai referensi untuk menurunkan nilai kesadahan dalam pengolahan air minum [8]. Salah satu industri tekstil di Kabupaten Sukoharjo adalah Sritex yang merupakan industri tekstil terbesar di Provinsi Jawa Tengah dan di Indonesia. Dalam proses produksinya Sritex memerlukan air dengan kualitas setara kualitas air minum. Permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini adalah tingkat kesadahan air produksi yang diperlukan PT Sritex air memiliki nilai kesadahan yang tinggi yaitu sebesar 520 mg/l, sehingga perlu dicari teknologi pengolahan yang tepat. Salah satu teknologi yang dapat diaplikasikan adalah pertukaran ion (*ion exchange*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi penurunan kesadahan air dengan teknologi pengolahan menggunakan proses *ion exchange* dengan resin amberlite IR 120 NA. Teknologi *ion exchange* dapat menghasilkan air dengan kualitas yang dibutuhkan oleh industri tekstil.

2. METODE

Lokasi pengambilan sampel di PT Sri Rejeki Isman di Jl KH. Samanhudi No. 53, Sukoharjo. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Teknologi Solo dan dianalisis dengan Titrimetri EDTA di laboratorium Teknik Lingkungan "AKPRIND" Yogyakarta. Obyek penelitian yang diteliti adalah air tanah dengan tingkat kesadahan yang terlalu besar. Periode penelitian bulan Mei 2008-September 2008. Tata cara pengambilan sampel menggunakan standar Nasional Indonesia (SNI) untuk pengambilan sampel pada air tanah [9]. Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari : a). Variabel bebas yaitu Waktu proses (1,2,3,4,5 jam) dan variasi ketebalan media resin (30,40,50 cm). Dalam penelitian ini memakai resin amberlite IR 120 NA, yang sangat baik dalam proses pengolahan air untuk kebutuhan industri misalnya pelunakan air dan demineralisasi [10]. Resin yang dipergunakan dalam penelitian ini sesuai resin dengan ASTM C 582, menurut standar nasional Indonesia SNI Nomor: 7504:2011 tentang spesifikasi material *fibreglass reinforced plastic* yaitu komposit yang terdiri dari serat kaca dan resin polimer untuk unit instalasi pengolahan air [11]. b). Variabel terikat yaitu, Tingkat kesadahan yang tinggi pada air tanah. Tahapan teknis pelaksanaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel (air baku) diambil dari air sumur yang merupakan sumber air baku PT Sri Rejeki Isman Sukoharjo dalam proses produksi. Volume sampel air yang diambil sebanyak 5000 ml pada satu titik pengambilan sampel. Cara pengambilan sampel, botol plastik harus dalam keadaan (steril) lalu botol plastik dibilas dengan sampel air baku sebanyak 3 kali, setelah itu baru dimasukkan sampel air baku sampai penuh tanpa ada celah udaranya dan ditutup rapat. Air yang diambil belum mengalami proses pengolahan.

2. Penyiapan Bahan

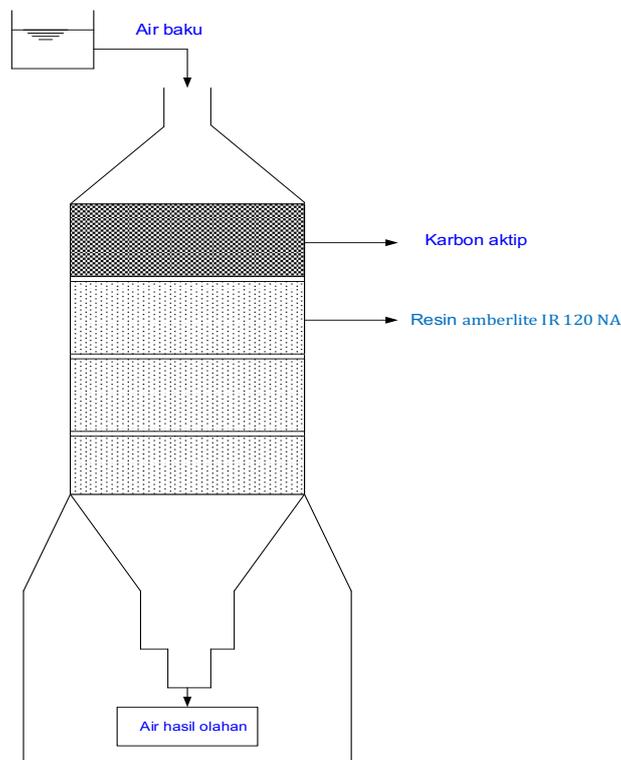
Resin sintetis dalam penelitian ini adalah jenis resin amberlite IR 120 NA yaitu resin penukar kation jenis kation asam kuat yang biasa diaplikasikan dalam pengolahan air untuk kepentingan industri khususnya pelunakan air. Resin ini ada bentuk butiran siap dipakai. Resin yang telah dipersiapkan ditimbang untuk ketebalan 30 cm membutuhkan resin sebanyak 0,75 kg, untuk ketebalan 40 cm membutuhkan resin sebanyak 1,00 kg. Untuk ketebalan 50 cm membutuhkan resin sebanyak 1,25 kg. Selain menggunakan resin sintetis, bahan lain yang digunakan adalah karbon aktif. Untuk karbon aktif membutuhkan 0,15 kg.

3. Cara Kerja Penelitian

Air baku (air tanah) dimasukkan dalam wadah umpan kemudian dialirkan ke reaktor. Reaktor terdiri dari beberapa lapisan yaitu karbon aktif arang aktif dan 3 lapisan resin amberlite IR 120 NA. Tinggi air yang diolah dipertahankan ketinggiannya supaya air dapat mengalir secara gravitasi dan terus menerus. Air hasil olahan yang keluar dari tabung reaktor ditampung dengan botol plastik dengan kapasitas 300 ml dan diambil setiap 1 jam sekali, lalu air hasil olahan tersebut dianalisis di laboratorium untuk melihat penurunan kesadahan hasil olahan dengan metode analisa Tritimetri EDTA. Adapun cara kerja analisa Tritimetri EDTA adalah 100 ml air sampel dicampur dengan larutan buffer sebanyak 5 ml dan indikator kesadahan sebanyak 1 ml sehingga dihasilkan warna merah, kemudian dilakukan titrasi dengan larutan titran EDTA hingga terlihat terjadi warna berubah menjadi ungu [12]. Jumlah larutan EDTA (p) dicatat dan tingkat kesadahan dihitung dengan rumus:

$$\text{Kesadahan} = \frac{1000 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} p. NEDTA. ME. CaCO_3 \quad (1)$$

Sedangkan cara kerja dan tata cara pembuatan dari alat penelitian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Reaktor penelitian

Dalam penelitian ini disamping pengamatan secara laboratorium juga dilakukan analisa deskriptif yang merupakan uraian penalaran guna merekatkan berbagai data dalam rangka mencari kejelasan yang sedang diamati, sehingga diperoleh kesimpulan yang jelas. Efisiensi pengolahan dengan memperhatikan data analisa konsentrasi sebelum pengolahan dan konsentrasi setelah pengolahan dengan menggunakan resin. Jika konsentrasi air tanah sebelum dan sesudah pengolahan diketahui, maka perhitungan efisiensi pengolahan (EP) dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

$$EP = \frac{Co - Ct}{Co} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana: EP = Efisiensi Pengolahan (%); Co = Konsentrasi air sebelum pengolahan (mg/l); Ct = Konsentrasi air sesudah pengolahan (mg/l)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

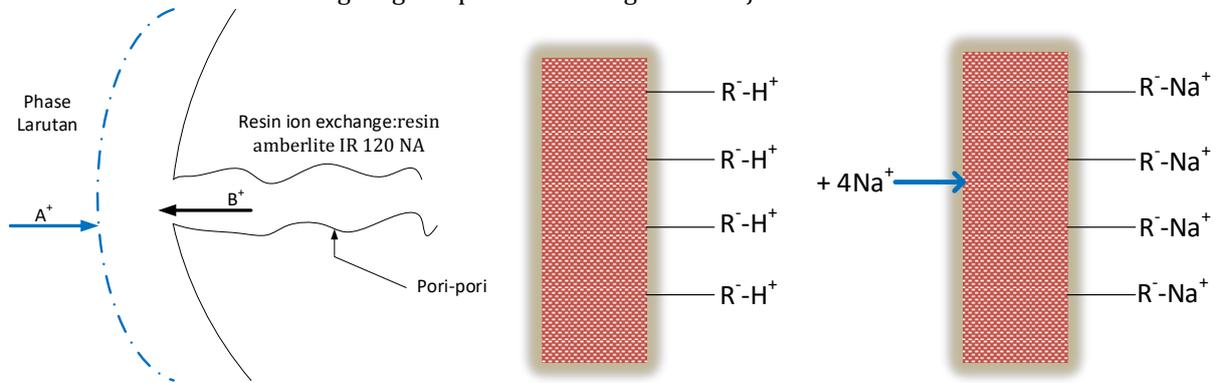
Berdasarkan penelitian konsentrasi awal kesadahan pada air tanah di PT. Sri Rejeki Isman Sukoharjo seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kesadahan sebelum pengolahan

Parameter	Pengulangan			Rata-Rata (mg/l)
	I	II	III	
Kesadahan	520	520	520	520

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa konsentrasi kesadahan dalam air tanah masih melebihi nilai ambang batas yang ditentukan, dimana konsentrasi kesadahannya mencapai 520 mg/l. Hasil ini tidak sesuai menurut peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.32 Tahun 2017 [13][14]. Konsentrasi yang diperbolehkan untuk kesadahan lebih kecil dari 500 mg/l, maka perlu dilakukan penurunan terhadap konsentrasi kesadahan dalam air tanah menggunakan resin dengan variasi ketebalan 30 cm, 40 cm, 50 cm untuk mendapatkan hasil penurunan kesadahan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan.

Mekanisme reaksi dasar yang terjadi dalam proses pertukaran ion adalah resin mengandung kation B⁺ yang akan dipertukarkan dengan kation A⁺. Kation A⁺ dan B⁺ akan mengalami difusi oleh karena adanya perbedaan konsentrasi resin dan larutan. Reaksi pertukaran ion yang terjadi adalah $A^+ + R^-B^+ \rightleftharpoons B^+ + R^-A^+$. Proses pertukaran ion akan terus berlangsung sampai keseimbangan ion terjadi.



Gambar 2. Mekanisme proses pertukaran ion

Data hasil penelitian untuk parameter kesadahan dengan menggunakan ketebalan media resin 30 cm, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil penelitian hubungan antara waktu proses dengan penurunan kesadahan dan efisiensi pengolahan

Waktu proses (jam)	Pengulangan			Rata-rata (mg/l)	Efisiensi Pengolahan (%)
	I	II	III		
1	360	380	400	380,00	26,92
2	320	360	320	333,33	35,89
3	380	320	240	313,33	39,74
4	240	240	200	226,66	56,41
5	240	200	200	213,33	58,98

Catatan : - Ketebalan media resin 30 cm
 - Konsentrasi kesadahan awal 520 mg/l

Seperti terlihat pada Tabel 2 di atas bahwa harga hasil penurunan kesadahan terbesar diperoleh pada waktu proses 5 jam dengan harga 213.33 mg/l, penurunan ini sudah memenuhi nilai ambang batas tetapi air masih bersifat sadah dan harus diturunkan lagi.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa harga hasil penurunan kesadahan terbesar diperoleh pada waktu proses 5 jam dengan harga penurunan kesadahan sebesar 146,66 mg/l dan penurunan terkecil diperoleh pada waktu proses 1 jam dengan harga penurunan kesadahan sebesar 306,66 mg/l. Dari Tabel 3 juga dapat dilihat semakin lama waktu proses semakin kecil tingkat kesadahan yang dapat diturunkan. Hal ini menunjukkan bahwa resin sintesis semakin berkurang kemampuannya dalam menurunkan tingkat kesadahan, karena semakin lama waktu prosesnya resin mengalami kejenuhan sehingga harus dilakukan regenerasi dengan air garam (NaCl).

Tabel 3. Data hasil penelitian hubungan antara waktu proses dengan penurunan kesadahan dan efisiensi

pengolahan						
Waktu proses (jam)	Pengulangan			Rata-rata (mg/l)	Efisiensi Pengolahan (%)	
	I	II	III			
1	320	280	320	306,66	41,03	
2	240	200	280	240,00	53,85	
3	200	200	240	213,33	58,98	
4	200	160	160	173,33	66,67	
5	160	120,	160	146,66	71,80	

Catatan : - Ketebalan media resin 40 cm
 - Konsentrasi kesadahan awal 520 mg/l

Tabel 4. Data hasil penelitian hubungan antara waktu proses dengan penurunan kesadahan dan efisiensi pengolahan

pengolahan						
Waktu proses (jam)	Pengulangan			Rata-rata (mg/l)	Efisiensi Pengolahan (%)	
	I	II	III			
1	240	280	240	253,33	51,28	
2	200	200	160	186,66	64,10	
3	160	160	120	147,00	71,73	
4	120	120	80	106,66	79,46	
5	120	80	80	93,33	82,05	

Catatan : - Ketebalan media resin 50 cm
 - Konsentrasi kesadahan awal 520 mg/l

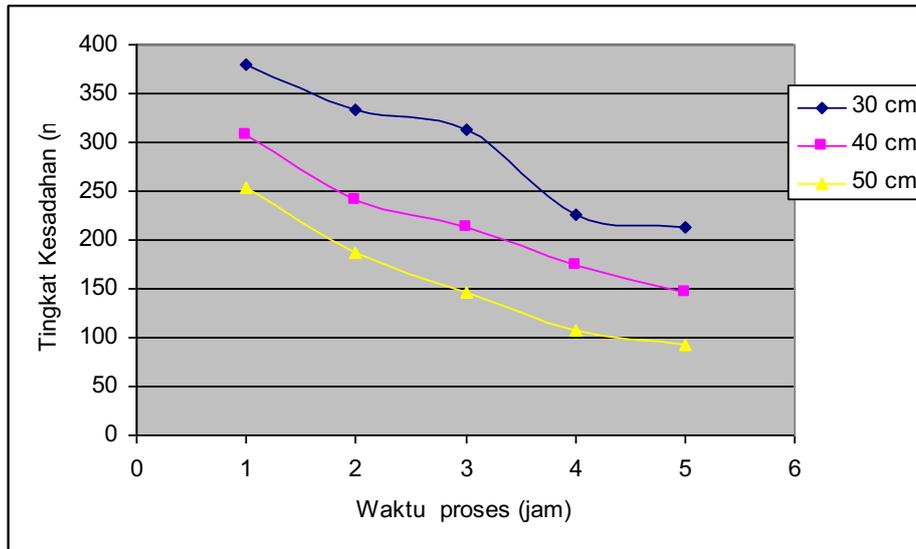
Dari Tabel 4 terlihat bahwa harga hasil penurunan kesadahan terbesar diperoleh pada waktu proses 5 jam dengan penurunan sebesar 93,33 mg/l dan penurunan kesadahan terkecil diperoleh pada waktu proses 1 jam dengan harga penurunan kesadahan sebesar 253,33 mg/l. Pada waktu proses 5 jam, tingkat kesadahan mencapai 93,33 mg/l dimana tingkat kesadahannya sedang dan dapat diturunkan lagi setelah dimasak. Dalam penelitian dilakukan dengan 2 metode pengolahan yaitu metode pengolahan fisika yaitu proses yang terjadi adalah baku akan mengalami pengendapan (sedimentasi) dimana zat-zat padat tersuspensi yang menyebabkan air tanah menjadi keruh akan diendapkan sebelum air alirkan ke tangki *softener*. Proses ini bertujuan agar air baku yang dialirkan tidak mengganggu cara kerja dari karbon aktif dan resin jenis IR 120 NA yang sudah diaktifkan. Metode pengolahan kimia yaitu proses yang terjadi adalah air akan mengalir ke karbon aktif yang berfungsi untuk menurunkan warna dan bau pada air, dimana selama berada di karbon aktif akan terjadi proses adsorpsi (proses penyerapan zat terlarut di atas permukaan fase) dan kemungkinan sebagian ion kalsium (Ca²⁺) dan ion magnesium (Mg²⁺) terserap selama berada di karbon aktif. Selanjutnya air akan mengalir melewati media resin jenis IR 120 NA dan terjadi proses yang *ion exchange* (pertukaran ion) dimana ion Magnesium (Mg²⁺) pada air yang memiliki tingkat kesadahan yang tinggi akan diikat oleh media resin sehingga air tersebut diharapkan tingkat kesadahannya menurun. Penelitian dilakukan pada kondisi resin sintesis sebanyak 0,75 kg untuk ketebalan 30 cm, resin sintesis sebanyak 1,00 kg untuk ketebalan 40 cm, resin sintesis sebanyak 1,25 kg untuk ketebalan 50 cm dengan waktu proses (1, 2, 3, 4, 5 jam) [15].

Tabel 5. Data hasil penelitian penurunan kesadahan rata-rata terhadap waktu proses dan efisiensi pengolahan

Waktu	Tebal resin 30 cm		Tebal resin 40 cm		Tebal resin 50 cm	
	Kesadahan	EP (%)	Kesadahan	EP (%)	Kesadahan	EP (%)
1	380,00	26,92	306,66	41,03	253,33	51,28
2	333,33	35,90	240,00	53,85	186,66	64,10
3	313,33	39,74	213,33	58,98	147,00	71,73
4	226,66	56,41	173,33	66,67	106,66	79,49
5	213,33	58,98	146,66	71,80	93,33	82,05

Catatan : Konsentrasi kesadahan awal 520 mg/l

Seperti terlihat pada Tabel 5 di atas, pada masing-masing ketebalan media resin sintesis terlihat adanya perbedaan masing-masing penurunan tingkat kesadahan dan efisiensi pengolahan (EP) terhadap penambahan waktu proses.



Gambar 4. Grafik hubungan antara waktu proses dengan tingkat kesadahan

Pada Tabel 5 untuk ketebalan media resin 30 cm menunjukkan nilai penurunan tingkat kesadahan terkecil sebesar 380,00 mg/l dan nilai efisiensi pengolahan (EP) sebesar 26,92% dan terus menurun hingga pada waktu proses 5 jam diperoleh nilai penurunan tingkat sebesar 213,33 mg/l dan nilai efisiensi pengolahan (EP) 58,98%. Sedangkan untuk ketebalan media resin 40 cm menunjukkan nilai penurunan tingkat kesadahan terkecil sebesar 306,66 mg/l dan nilai efisiensi pengolahan (EP) sebesar 41,03% dan terus menurun hingga diperoleh penurunan tertinggi sebesar 146,66 mg/l dan nilai efisiensi pengolahannya mencapai 71,80%. Untuk ketebalan media resin 50 cm menunjukkan nilai penurunan tingkat kesadahan terkecil sebesar 253,33 mg/l dan nilai efisiensi pengolahannya sebesar 51,28 % dan terus menurun hingga diperoleh penurunan tertinggi sebesar 93,33 mg/l dan nilai efisiensi pengolahan (EP) mencapai 82,05%. Hasil ini sesuai dengan penelitian Nuryuto et al 2024 dimana variasi ketebalan resin dapat menurunkan kesadahan air dengan efisiensi sebesar 93,56% [16].

Tabel 6. Data hasil penurunan tingkat kesadahan dan efisiensi pengolahan tertinggi dari setiap ketebalan resin

Ketebalan Resin (cm)	Tingkat Kesadahan (mg/l)	Efisiensi Pengolahan (%)
30	213,33	58,98
40	146,66	71,80
50	93,33	82,05

Dari Tabel 6 pada setiap penambahan ketebalan media resin akan menaikkan harga penurunan tingkat kesadahan dan harga efisiensi pengolahannya. Hal ini disebabkan pada jumlah resin tersebut, air tanah yang mengandung kesadahan sudah terdistribusi secara merata dan semakin tinggi resin yang digunakan semakin besar luas permukaannya, sehingga kesadahan yang ada dalam air tanah lebih mudah diserap oleh resin dan interaksi antara umpan dan resin semakin baik.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah tingkat kesadahan dipengaruhi oleh ion (Ca) dan (Mg) meskipun nilainya kecil. Penggunaan resin sintetis sangat cocok digunakan untuk mereduksi kesadahan, karena mempunyai daya serap yang besar dan tingkat efektivitasnya tinggi, Hasil yang diperoleh setelah pengolahan sudah sesuai dengan persyaratan air minum dan air bersih yang ditetapkan, penambahan ketebalan media resin sangat berpengaruh pada penurunan tingkat kesadahan dan efisiensi pengolahan dan penurunan tingkat kesadahan yang paling baik diperoleh pada ketebalan media resin 50 cm dengan tingkat kesadahan sebesar 93,33 mg/l dan efisiensi pengolahan mencapai 82,05 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Husaini dan T. Soenara, "Pengurangan Kesadahan Ca, Mg dan Logam Berat Fe, Mn, Zn dalam Bahan Baku Air Minum dengan Menggunakan Zeolit Asal Cikalong, Tasikmalaya," Jurnal Zeolit Indonesia, vol. 5, no.1, Mei 2006.
- [2] D. W. Astuti, S. Fatimah, dan S. Anie, "Analisis Kadar Kesadahan Total Pada Air Sumur di Padukuhan Bandung Playen Gunung Kidul Yogyakarta," Analit: Analytical and Environmental Chemistry, vol. 1, no.1, 2016.
- [3] Sulistyani, Sunarto, dan A. Fillaeli, "Uji Kesadahan Air Tanah Di Daerah Sekitar Pantai Kecamatan Rembang

- Propinsi Jawa Tengah, Jurnal Sains Dasar, vol. 1, no. 1, pp. 33-38, 2012.
- [4] K. B. V. Ngere, Y. Rumbino, dan N. Banunaek, "Analysis Reduction Of Synthetic Hardware Water (Cacl₂) By Ende's Natural Zeolite," Jurnal Teknologi, vol. 17, no. 1, Mei 2023.
- [5] L.S Clesceri, A.E Greenberg, dan A.D Eaton, "Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 21st Edition," Washington DC. New York: American Public Health Association, 1999.
- [6] E. Kusumawati, R. D. Jayanti, L. H. Putri, N. Annisa, dan T. Paramitha, "Evaluasi dan Modifikasi Alat Penukar Ion dengan Penambahan Kolom Adsorpsi Karbon Aktif untuk Menurunkan Kesadahan," Kovalen: Jurnal Riset Kimia, vol. 10, no. 1, 2024.
- [7] D. Fitriana, Santjoko, Herman, Fauzie, dan M. Mirza, "Perbedaan Asal Media Penukar Ion Untuk Menurunkan Kesadahan Air Sumur Gali," Sanitasi Jurnal Kesehatan Lingkungan, vol. 10, no. 1, 2018.
- [8] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum. Indonesia, 2017.
- [9] Badan Standar Nasional, "Metode Pengambilan Contoh Air Tanah," pp. 2-9, 2011.
- [10] Diananto, "Penggunaan Natrium Klorida (Nacl) Sebagai Regeneran Resin Amberlite Ir 120 Na Dalam Menurunkan Kesadahan Total Air Sumur," Rekayasa Lingkungan, vol. 16, no. 2, 2016.
- [11] Badan Standarisasi Nasional, "Spesifikasi Material Fibreglass Reinforced Plastic Unit Instalasi Pengolahan Air," 2011.
- [12] L.S Clesceri, A. E Greenberg, A. D Eaton, "Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater Treatment," 20th ed. New York: APHA Press; 1999.
- [13] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Standar Kualitas Air Minum 907 / MENKES / SK / VII / 2002 Indonesia, 2002.
- [14] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum 32 Tahun 2017," Indonesia, 2017.
- [15] S. M. B. Pertiwi, "Efektifitas Ketebalan Resin Amberlite Ir 120 Na Dalam Menurunkan Kesadahan Total Air Pdam Kecamatan Pucakwangi Kabupaten Pati," Universitas Diponegoro, 2009.
- [16] Nuryoto, Rahmayetty, R. Hartono, "Pengolahan Air Menggunakan Proses Demineralisasi dengan Memanfaatkan Resin Penukar Ion: Studi Pengaruh Laju Alir dan Tinggi Resin," Jurnal Ilmu Lingkungan, vol. 22, no. 2, 2024.