

PEMBUATAN AIR ACCUMULATOR DAN PENDINGIN KONDENSOR DENGAN MENURUNKAN KESADAHAN AIR BAKU MENGUNAKAN ION EXCHANGE

Bernardete F. D. dan Munawar Ali¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Email: munawar.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Tingginya kandungan kesadahan dan mineral pada air baku yang digunakan pada proses produksi industri accumulator sangat menentukan teknologi pengolahan yang tepat yang sebaiknya digunakan untuk menyisihkan kesadahan dan mineral pada air baku. Dalam penelitian ini, teknologi pertukaran ion multi-bed dengan proses kontinyu digunakan untuk mengetahui kemampuan penyisihan tertinggi dan volume resin terbaik yang dapat digunakan untuk menyisihkan kandungan kesadahan dan mineral pada air baku. Variabel perlakuan yang digunakan yaitu volume resin (1 l, 2 l, 3 l, 4 l, dan 5 l) serta waktu sampling (1, 2, 3, 4, 5 jam). Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, diketahui bahwa volume resin sangat mempengaruhi kemampuan penyisihan kation dan anion yang terdapat pada air baku, sedangkan waktu sampling tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan yang dihasilkan. Volume resin terbaik yang dapat digunakan untuk menyisihkan kation pada air baku adalah volume resin 4 l dengan kemampuan penyisihan kation rata-rata sebesar 86,364%, sedangkan volume resin terbaik yang dapat digunakan untuk menyisihkan anion pada air baku adalah volume resin 2 l dengan kemampuan penyisihan anion rata-rata sebesar 49,7333%. Resin kation pada penelitian ini akan mengalami titik jenuh setelah digunakan selama tiga jam sehingga proses regenerasi perlu dilakukan setiap tiga jam sekali, sedangkan resin anion pada penelitian ini akan mengalami titik jenuh setelah digunakan selama dua jam sehingga proses regenerasi perlu dilakukan setiap dua jam sekali.

Kata kunci: *Pertukaran Ion, Kesadahan, Demineralisasi, Air Demineralisasi, Air Pendingin*

ABSTRACT

High amount of hardness and minerals on the raw water will determine the right technology that could be used for reducing the amount hardness and minerals from it. In this research, multi-bed ion exchange reactor with continue process will be used for determining the highest percent removal that could be reach and the best volume of resins that could be used for reducing the amount of hardness and minerals from raw water. Independent variable that will be used in this research is the volume of resins (1 l, 2 l, 3 l, 4 l, and 5 l) and sampling time (1, 2, 3, 4, and 5 hours). Based on the analysis results, we know that volume resin influence the amount of percent removal that could be reach, but not for the sampling time. The best volume resin that could be used for removing cation is 4 l with the average removal of cation reach 86,364% and the best volume resin that could be used for removing anion is 2 l with the average removal of anion reach 49,7333%. Cation exchanger that have been used in this research would be exhausted after 3 hours, so it have to be regenerated every 3 hours. Anion exchanger that have been used for this research would be exhausted after 2 hours, so it have to be regenerated every 2 hours.

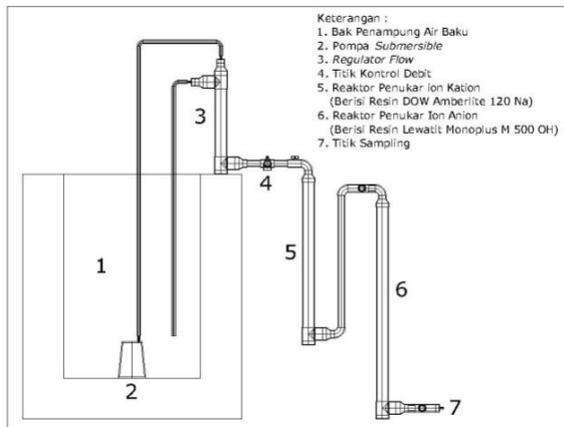
Keywords: Ion Exchange, Hardness, Demineralization, Demineralization Water, Water Coolant

PENDAHULUAN

Dalam industri *accumulator*, tingginya kesadahan pada air baku sangat menentukan kualitas produk *accumulator* yang dihasilkan. Dalam proses produksi *accumulator*, air baku sangat dibutuhkan guna menghasilkan air *accu* dan mendinginkan peralatan produksi melalui *boiler* dan *chiller*. Menurut Siringoringo (2015), air umpan yang digunakan pada *boiler* dan *chiller* (alat pendingin) membutuhkan kemurnian yang tinggi guna mencegah terbentuknya kerak sehingga kemungkinan terjadinya proses penyumbatan (*clogging*) pada saluran pendingin dapat diminimalisir. Menurut Hayuningtyas (2015), salah satu cara yang dapat digunakan untuk menurunkan kesadahan dalam air baku (air sumur) dapat dilakukan dengan proses pertukaran ion (*ion exchange*). Proses pertukaran ion dalam teknologi *ion exchange* dapat dilakukan baik secara *single bed* (hanya menggunakan salah satu dari *cation* atau *anion exchanger*) atau dengan *multi-bed* (menggunakan beberapa kolom *exchanger*) bergantung pada jumlah ion yang akan ditukar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen dengan parameter yang akan dianalisis berupa kesadahan air baku setelah melalui proses pengolahan menggunakan teknologi penukar ion secara *multi-bed*. Penelitian ini diawali dengan proses perangkaian reaktor sesuai dengan skema yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut ini. Spesifikasi reaktor akan dijelaskan melalui tabel 1 berikut ini.



Gambar -1: Skema Reaktor Penukar Ion

Tabel -1: Spesifikasi Reaktor Penukar Ion

Pompa Submersible	
Daya Output (P_{out})	100 Watt
Daya Input (P_{in})	200 Watt
Daya Dorong	6 m
Total Head (H)	6 m
Diameter Outlet (d_{out})	1 inchi
Debit Maksimum (Q_{max})	70 L/menit
Tegangan (V) / Frekwensi (f)	220 V / 50 Hz
Reaktor Kation	
Jumlah Reaktor Ideal ($n_{reaktor}$)	1
Kebutuhan Resin (V_{resin}) Ideal	7,388 L
Diameter Reaktor ($d_{reaktor}$)	3 inchi (0,0762 m)
Ketinggian Reaktor ($h_{reaktor}$)	1,877 m
Volume Air Maksimum yang Dapat Diolah	16,628 m ³
Reaktor Anion	
Jumlah Reaktor Ideal ($n_{reaktor}$)	16
Kebutuhan Resin (V_{resin}) Ideal	75,578 L
Diameter Reaktor ($d_{reaktor}$)	3 inchi (0,0762 m)
Ketinggian Reaktor ($h_{reaktor}$)	1,052 m
Volume Air Maksimum yang Dapat Diolah	10,419 m ³
Diameter Pipa Inlet dan Outlet ($d_{in/out}$)	1,5 inchi (0,0381 m)

Selanjutnya proses regenerasi dilakukan secara *batch* dengan regeneran kation berupa asam klorida (HCl) dan regeneran anion berupa natrium hidroksida (NaOH) dengan waktu kontak minimum selama 30 menit. Resin kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dan air sumur siap dialirkan ke dalam reaktor. Pengambilan sampel dilakukan setiap interval satu jam operasional. Analisis data yang dilakukan terhadap kesadahan total, kalsium, dan magnesium menggunakan metode titrimetri, sedangkan analisis terhadap kandungan klorida pada air baku menggunakan metode titrasi argentometri. Uji statistik yang dipergunakan guna memperoleh kesimpulan dalam penelitian ini meliputi uji korelasi, *two way anova*, dan *analysis of mean* (ANOM).

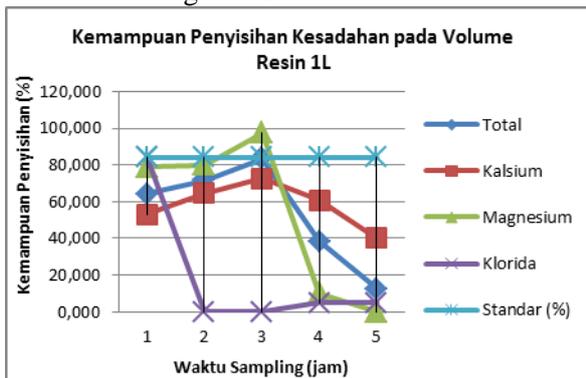
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis laboratorium mengenai penurunan parameter kesadahan total, kesadahan kalsium, kesadahan magnesium dan klorida dalam air baku menggunakan teknologi pertukaran ion, diperoleh data analisis sebagai berikut:

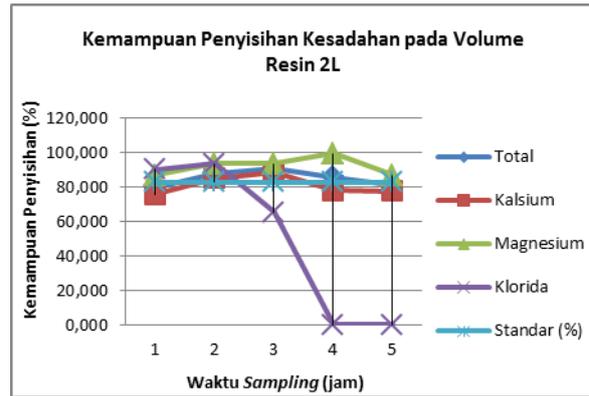
Tabel -2: Pengaruh Volume Resin dan Waktu *Sampling* terhadap Penurunan Kandungan Kesadahan Total, Kalsium, Magnesium dan Klorida dengan Teknologi Pertukaran Ion

Volume Resin (l)	Waktu <i>Sampling</i> (jam)	Kemampuan Penyisihan Kesadahan (%)			
		Total	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻
1	1	64,286	52,941	78,800	84,375
	2	71,429	64,706	80,000	0,000
	3	83,516	72,549	97,500	0,000
	4	38,462	60,784	10,000	5,000
	5	12,637	40,196	-22,500	5,000
2	1	79,518	75,472	86,667	90,000
	2	87,952	84,906	93,333	93,333
	3	90,361	88,679	93,333	65,333
	4	85,542	77,830	99,167	0,000
	5	80,723	77,358	86,667	0,000
3	1	87,059	77,083	100,000	40,244
	2	91,176	84,375	100,000	56,707
	3	97,647	95,833	100,000	67,683
	4	88,235	91,667	83,784	50,610
	5	78,235	81,250	74,324	0,000
4	1	73,846	90,909	38,095	100,000
	2	81,538	95,455	52,381	70,833
	3	84,615	90,909	71,429	0,000
	4	81,538	86,364	71,429	0,000
	5	78,462	68,182	100,000	0,000
5	1	87,500	89,583	84,375	67,089
	2	88,750	89,583	87,500	80,380
	3	90,000	85,417	96,875	29,747
	4	88,750	83,333	96,875	0,000
	5	83,750	81,250	87,500	0,000

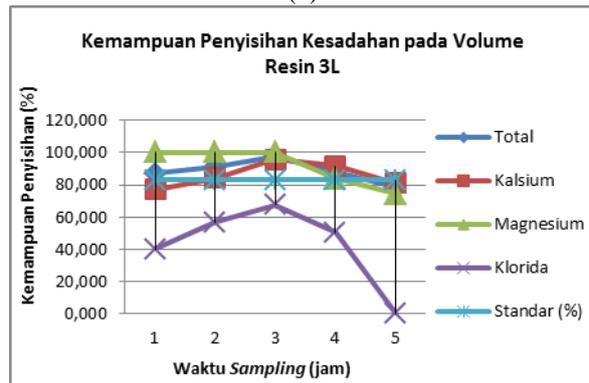
Kemampuan penyisihan kesadahan pada air baku yang terjadi melalui proses pengolahan dengan menggunakan teknologi pertukaran ion dapat dilihat melalui grafik berikut ini.



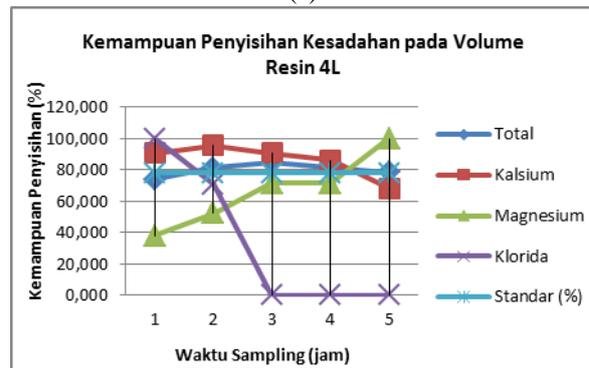
(a)



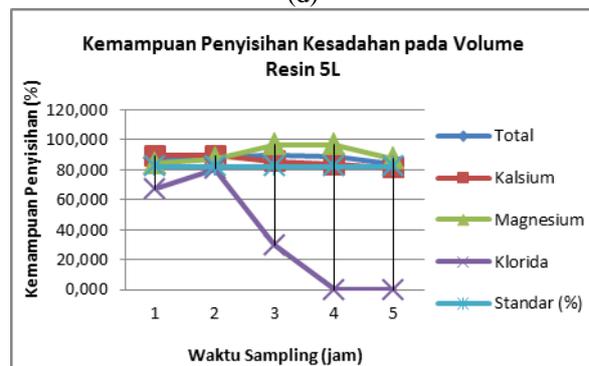
(b)



(c)



(d)



(e)

Grafik -1: Hubungan Waktu *Sampling* Terhadap Kemampuan Penyisihan Kesadahan pada Air Baku dengan Volume Resin

(a) 1 l; (b) 2 l; (c) 3 l; (d) 4 l; (e) 5 l

Berdasarkan grafik (a), dapat diketahui resin kation mengalami titik jenuh pada jam ketiga.

Hal tersebut ditunjukkan dengan titik optimal kemampuan penyisihan kation yang berada pada jam ketiga yang kemudian diikuti dengan menurunnya kemampuan penyisihan pada jam selanjutnya. Menurunnya kemampuan penyisihan resin kation pada jam ketiga disebabkan karena resin sudah tidak mampu mengikat ion lain akibat ion yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih tinggi sudah sepenuhnya terikat pada resin (Metcalf & Eddy, 2003).

Berbeda dengan kemampuan penyisihan yang dihasilkan oleh resin kation, resin anion justru memiliki kemampuan penyisihan yang optimal pada jam pertama. Tercapainya titik jenuh resin anion dengan volume 1 liter pada jam pertama disebabkan oleh tingginya anion yang terkandung dalam air baku. Kandungan garam yang tinggi pada air baku yang mencapai 131,959 mg/l pada saat itu disinyalir menjadi penyebab resin anion yang digunakan tidak mampu mengikat kandungan garam yang terdapat air baku setelah jam pertama.

Berdasarkan grafik (b), titik optimal kemampuan penyisihan kesadahan dengan volume resin kation 2 liter memiliki kemampuan penyisihan optimal pada resin kation 2 liter ini berada pada jam ketiga, akan tetapi perbedaan pola justru terjadi pada kemampuan penyisihan optimal kesadahan magnesium yang berada pada jam keempat. Perbedaan pola kemampuan penyisihan ini terjadi karena penambahan volume resin menjadi 2 liter mengakibatkan kemampuan penyisihan ion kalsium pada air baku menjadi lebih tinggi (Metcalf & Eddy, 2003), sehingga dengan jumlah kandungan kesadahan kalsium pada air baku yang hanya mencapai 42,4 mg/l, 2 liter resin kation DOW Amberlite 120 Na masih mampu mengikat kesadahan magnesium pada air baku hingga mencapai kemampuan penyisihan sebesar 99,167% pada jam keempat.

Perbedaan pola juga terjadi pada kemampuan penyisihan resin anion terhadap kandungan klorida pada air baku. Berdasarkan grafik (b), diketahui bahwa titik optimal penyisihan kandungan klorida pada air baku tercapai pada jam kedua. Kandungan klorida pada air baku yang lebih rendah dibandingkan dengan kandungan klorida yang terdapat pada air baku saat dilakukan analisis penurunan kesadahan dengan volume resin 1 liter ($74,977 \text{ mg/L} <$

$79,975 \text{ mg/l}$) disinyalir menjadi penyebab resin anion memiliki rentang durasi operasional optimum yang lebih lama. Selain itu, bertambahnya volume resin yang digunakan juga mempengaruhi kemampuan penyisihan anion yang dihasilkan, sehingga dengan bertambahnya volume resin yang digunakan, maka kemampuan penyisihan akan semakin tinggi dan tercapainya titik jenuh resin akan menjadi semakin lama (Metcalf & Eddy, 2003).

Berdasarkan grafik (c), titik optimal kemampuan penyisihan kesadahan dengan volume resin kation 3 liter memiliki titik optimal kemampuan penyisihan pada jam ketiga, akan tetapi perbedaan pola terjadi pada kemampuan penyisihan kandungan magnesium dalam air baku. Dalam grafik (c), kemampuan penyisihan magnesium pada jam pertama hingga keempat menunjukkan bahwa kemampuan penyisihan magnesium dalam air baku dapat mencapai titik optimal yang ditandai dengan tercapainya 100% penyisihan. Hal tersebut disebabkan oleh lebih rendahnya kandungan kalsium dalam limbah dibandingkan dengan periode analisis sebelumnya ($38,4 \text{ mg/l} < 40,8 \text{ mg/l} < 42,4 \text{ mg/l}$). Rendahnya kandungan kalsium pada periode analisis ini menyebabkan resin yang berada pada volume 3L masih memiliki banyak ruang untuk mengikat kation lain yang terkandung pada air baku. (Metcalf & Eddy, 2003) Oleh karena itu, kemampuan penyisihan magnesium dapat mencapai titik sempurna (100%) hingga jam ketiga.

Pada proses penelitian dengan menggunakan volume resin 3 liter, kesadahan klorida yang terjadi memiliki titik optimum yang berada pada jam ketiga. Dengan stabilnya debit yang diatur pada $\pm 2,3$ liter/menit, maka jumlah klorida yang terikat pada resin setiap menitnya tidak akan berubah secara signifikan, sehingga durasi operasional resin hingga mencapai titik jenuh akan semakin panjang (Metcalf & Eddy, 2003).

Tercapainya kemampuan penyisihan yang bernilai nol pada jam kelima menandakan bahwa terdapat ion lain dalam air baku yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih tinggi dibandingkan klorida. Oleh karena itu, resin anion akan cenderung mengikat ion tersebut dibandingkan dengan klorida yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih rendah (Bard, 1966) (Peterson, 1953).

Berdasarkan grafik (d), titik optimal kemampuan penyisihan kesadahan total dengan volume resin kation 4 liter titik optimal kemampuan penyisihan pada jam ketiga, akan tetapi kemampuan penyisihan optimal kesadahan kalsium terjadi pada jam kedua. Tercapainya titik optimal kesadahan kalsium pada jam kedua ini disinyalir diakibatkan oleh kehadiran kation lain yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih tinggi dibandingkan kalsium.

Kemungkinan hadirnya ion lain seperti timbal (Plumbum/ Pb^{2+}) (dengan koefisien selektifitas 9) dan Barium (Ba^{2+}) (dengan koefisien selektifitas 11,5) yang merupakan salah satu bahan dalam industri *accumulator* pada air baku dapat mempersingkat durasi tercapainya titik jenuh resin kation. Hal tersebut disebabkan karena kecenderungan resin kation untuk mengikat ion timbal dan barium terlebih dahulu dibandingkan dengan kalsium (Ca^{2+}) (dengan koefisien selektifitas 5,2) (Bronsted & Lowry, 1923) (Slater, 1991). Kemungkinan kehadiran ion barium dan timbal pada air baku diperkuat oleh dekatnya jarak antara saluran pembawa limbah industri *accumulator* sumur, sehingga kemungkinan terjadinya intrusi limbah industri *accumulator* ke dalam sumur sangat tinggi.

Perbedaan kemampuan penyisihan juga tampak jelas pada proses penyisihan kandungan magnesium pada air baku. Menurut Metcalf & Eddy (2003), umumnya kemampuan penyisihan kesadahan magnesium akan memiliki kesamaan pola dengan kemampuan penyisihan kesadahan kalsium pada air baku. Hal tersebut disebabkan karena ion magnesium memiliki koefisien selektifitas yang lebih rendah dibandingkan kalsium, sehingga apabila resin mencapai titik jenuh dan tak mampu mengikat kalsium pada air baku, maka resin juga tidak akan mampu mengikat magnesium dalam air baku.

Berdasarkan grafik (d), tampak kemampuan penyisihan ion magnesium terus meningkat sekalipun resin telah mencapai titik jenuh pada jam ketiga. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik magnesium terlarut dalam air baku yang sangat mudah bereaksi dengan oksigen, sehingga apabila terjadi reaksi antara ion magnesium dan oksigen, maka kemampuan penyisihan magnesium akan tampak semakin meningkat tiap waktunya (Dreizin *et al.*, 2000). Perbedaan pola juga ditemukan pada kemampuan penyisihan yang dihasilkan oleh resin anion.

Pada grafik (d), dapat diketahui bahwa titik optimal kemampuan penyisihan resin anion terjadi pada jam pertama yang ditandai dengan menurunnya grafik kemampuan penyisihan pada grafik (d) setelah melewati jam pertama. Tercapainya titik optimal kemampuan penyisihan pada jam pertama disinyalir dapat terjadi akibat gangguan dari anion lain yang terkandung dalam air baku.

Kehadiran nitrit (NO_2^-) (dengan koefisien selektifitas 1,3) yang merupakan salah satu senyawa yang dapat ditemui secara alami pada air sumur dan bromida (Br^-) (dengan koefisien selektifitas 3) yang merupakan salah satu komponen pendukung proses produksi industri *accumulator* dapat mempengaruhi kemampuan penyisihan klorida pada air baku. Nitrit dan bromida yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan klorida (Cl^-) (dengan koefisien selektifitas 1) dapat mengakibatkan resin cenderung lebih mengikat nitrit dan bromida terlebih dahulu dibandingkan dengan klorida (Bard, 1966) (Peterson, 1953). Pada saat mencapai titik jenuh, resin akan cenderung melepas ion klorida guna mengikat anion lain dengan koefisien selektifitas yang lebih tinggi. Hal tersebut yang mengakibatkan kemampuan penyisihan klorida mencapai nilai nol pada jam ketiga, keempat, dan kelima (David & Heather, 1998).

Berdasarkan grafik (e), titik optimal kemampuan penyisihan kesadahan dengan volume resin kation 5 liter memiliki titik optimal kemampuan penyisihan pada jam ketiga. Berbeda dengan sebelumnya, pada volume resin kation 5 liter kemampuan penyisihan optimal kesadahan total, kalsium, dan magnesium berada pada jam yang sama, yaitu pada jam ketiga. Resin kation DOW Amberlite 120 Na dengan kapasitas pertukaran 2 eq/l secara teoritis mampu menyisihkan kandungan kalsium pada air baku sebesar 80.160 mg untuk setiap liter resin yang digunakan, sedangkan untuk kandungan magnesium, resin kation DOW Amberlite 120 Na secara teoritis mampu menyisihkan kandungan magnesium pada air baku sebesar 48.624 mg untuk setiap liter resin yang digunakan dengan asumsi tidak ada kehadiran kation lain dengan koefisien selektifitas yang lebih tinggi dibandingkan kalsium dan magnesium (Metcalf & Eddy, 2003). Akan tetapi, akibat kehadiran kation lain pada air baku kemampuan penyisihan maksimum tidak dapat tercapai. Akibatnya, resin mencapai

titik jenuh pada jam ketiga, sedangkan untuk resin anion, kemampuan penyisihan optimum kandungan klorida yang digambarkan pada grafik (e) terlihat pada jam kedua dengan kemampuan penyisihan sebesar 80,38%.

Secara teoritis, resin Lewatit Monoplus M500 OH⁻ dengan kapasitas pertukaran 1,1 eq/l mampu menyisihkan 38.998,3 mg klorida untuk setiap liter resin yang digunakan dengan asumsi tidak adanya anion lain yang terdapat pada air baku selain klorida, tetapi akibat kehadiran anion lain yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih tinggi dibandingkan klorida dan kecenderungan resin untuk mengikat anion yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih tinggi, maka kemampuan penyisihan klorida akan menjadi menurun. Hal itu juga bisa disebut potensi tercapainya titik jenuh pada resin akan menjadi lebih cepat. Berdasarkan hal tersebut, hubungan antara volume resin dengan kemampuan penyisihan serta kemampuan penyisihan kation dan anion terbaik akan dibahas secara lebih detail dengan menggunakan analisis statistik.

ANALISIS KORELASI

Analisis statistik korelasi yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk *multivariate correlation*. Analisis ini digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel tetap dan variabel perlakuan yang digunakan. Hasil dari analisis statistik korelasi dalam penelitian ini ditunjukkan dari gambar 2 berikut ini .

Correlation: Volume Resin; Waktu Sampling; Total; Kalsium; Magnesium; Klorida

	Volume Resin	Waktu Sampling	Total	Kalsium	Magnesium
Waktu Sampling	0,000				
Total	0,503	-0,250			
Kalsium	0,647	-0,202	0,823		
Magnesium	0,283	-0,170	0,896	0,492	
Klorida	0,067	-0,764	0,241	0,352	0,088

Cell Contents: Pearson correlation

Gambar -2: Hasil Analisis Statistik Korelasi

Berdasarkan gambar 2 diketahui bahwa volume resin memiliki korelasi positif dengan kemampuan penyisihan kesadahan yang dianalisis. Korelasi positif tersebut terjadi karena koefisien korelasi pearson mendekati nilai 1. Hal tersebut berarti semakin tinggi jumlah volume resin yang digunakan, maka kemampuan penyisihan akan turut meningkat juga. Waktu *sampling* memiliki korelasi negatif dengan kemampuan penyisihan kesadahan yang dianalisis. Hal ini disebabkan oleh koefisien korelasi pearson mendekati nilai -1. Korelasi negatif yang terjadi antara waktu *sampling* dengan kemampuan penyisihan menandakan bahwa semakin tinggi waktu *sampling*, maka kemampuan penyisihan kesadahan akan semakin

menurun.

ANALISIS TWO-WAY ANOVA

Analisis statistik *two-way anova* dalam penelitian ini digunakan untuk menguji hipotesis mengenai pengaruh waktu *sampling* ataupun volume resin terhadap kemampuan penyisihan kesadahan yang telah dianalisis. Hasil analisis statistik *two-way anova* akan ditunjukkan pada gambar 3 dan 4 berikut ini.

General Linear Model: Total versus Waktu Sampling; Volume Resin

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Waktu Sampling	4	1438	359,6	2,65	0,072
Volume Resin	4	4114	1028,5	7,59	0,001
Error	16	2168	135,5		
Total	24	7721			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11,6418	71,91%	57,87%	31,43%

Gambar -3: Hasil Analisis Statistik *Two Way Anova* Terhadap Kemampuan Penyisihan Kesadahan Total

Dalam analisis *two-way anova* ini, terdapat dua macam hipotesis yang akan diambil berdasarkan pengaruh variabel perlakuan terhadap variabel tetap yang dianalisis. Kedua hipotesis tersebut antara lain sebagai berikut:

- Pengaruh volume resin terhadap kemampuan penyisihan kesadahan total
 $H_0 = \text{Volume resin tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total}$
 $H_1 = \text{Volume resin mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total}$
- Pengaruh waktu *sampling* terhadap kemampuan penyisihan kesadahan total
 $H_0 = \text{Waktu sampling tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total}$
 $H_1 = \text{Waktu sampling mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total}$

Berdasarkan gambar 3, diketahui data-data sebagai berikut.

Tabel -3: Data Hasil Analisis *Two Way Anova* Terhadap Kemampuan Penyisihan Kesadahan Total

	Pengaruh volume resin terhadap kemampuan penyisihan kesadahan total	Pengaruh waktu <i>sampling</i> terhadap kemampuan penyisihan kesadahan total
F_{uji}	7,59	2,65
F_{hitung}	2,99	2,99
p-value	0,001	0,072
A	0,05	0,05
R²	71,91%	
Jumlah Data (N)	25	
Standar Deviasi (StDev)	11,642	

Berdasarkan tabel 4, diketahui bahwa jumlah data kemampuan penyisihan kesadahan total yang dianalisis sebanyak 25 data dengan koefisien determinasi (R^2) yang mencapai 71,91%, sedangkan hipotesis yang dapat disimpulkan untuk pengaruh volume resin terhadap kemampuan penyisihan kesadahan total yaitu volume resin mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total (H_0 ditolak). Hal tersebut disebabkan karena nilai F_{uji} yang lebih besar dibandingkan dengan nilai F_{hitung} ($7,59 > 2,99$). Selain itu, p-value yang dihasilkan oleh interaksi antara volume resin dengan kemampuan penyisihan kesadahan total menunjukkan bahwa nilai p-value lebih kecil dibandingkan dengan α ($0,001 < 0,05$).

Pengaruh waktu *sampling* dengan kemampuan penyisihan kesadahan total memiliki hasil analisis yang berbeda. Berdasarkan tabel 4, hipotesis yang dapat disimpulkan yaitu waktu *sampling* tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total (H_0 gagal ditolak). Hal tersebut disebabkan oleh nilai F_{uji} yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai F_{hitung} ($2,65 < 2,99$). Selain itu, p-value yang dihasilkan oleh interaksi antara waktu *sampling* dengan kemampuan penyisihan kesadahan total menunjukkan bahwa nilai p-value lebih besar dibandingkan dengan α ($0,072 > 0,05$), sehingga berdasarkan analisis *two-way anova* dapat disimpulkan bahwa volume resin mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total, sedangkan waktu *sampling* tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan total.

Hasil analisis *two-way anova* mengenai pengaruh volume resin dan waktu *sampling* terhadap kemampuan penyisihan klorida dalam air baku akan ditampilkan melalui gambar 4 berikut ini.

General Linear Model: Klorida versus Waktu Sampling; Volume Resin

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Waktu Sampling	4	20355	5088,8	7,27	0,002
Volume Resin	4	2675	668,6	0,95	0,458
Error	16	11203	700,2		
Total	24	34233			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
26,4611	67,27%	50,91%	20,10%

Gambar -4: Hasil Analisis Statistik *Two Way Anova* Terhadap Kemampuan Penyisihan Kesadahan Klorida

Dalam analisis *two-way anova* ini, terdapat dua macam hipotesis yang akan diambil berdasarkan pengaruh variabel perlakuan terhadap variabel tetap yang dianalisis. Kedua hipotesis tersebut antara lain sebagai berikut:

- Pengaruh volume resin terhadap kemampuan penyisihan kesadahan klorida
 H_0 = Volume resin tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida
 H_1 = Volume resin mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida
- Pengaruh waktu *sampling* terhadap kemampuan penyisihan kesadahan klorida
 H_0 = Waktu *sampling* tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida
 H_1 = Waktu *sampling* mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida

Berdasarkan gambar 4, diketahui data-data sebagai berikut :

Tabel -4: Data Hasil Analisis *Two-Way Anova* Terhadap Kemampuan Penyisihan Kesadahan Klorida

	Pengaruh volume resin terhadap kemampuan penyisihan kesadahan klorida	Pengaruh waktu <i>sampling</i> terhadap kemampuan penyisihan kesadahan klorida
F_{uji}	0,95	7,27
F_{hitung}	2,99	2,99
p-value	0,458	0,002
α	0,05	0,05
R²	67,27%	
Jumlah Data (N)	25	
Standar Deviasi (StDev)	26,4611	

Berbanding terbalik dengan hasil analisis *two-*

way anova terhadap kemampuan penyisihan kesadahan total. Jumlah data kemampuan penyisihan kesadahan klorida yang dianalisis sebanyak 25 data dengan koefisien determinasi (R^2) mencapai 67,27%. Hipotesis yang dapat disimpulkan untuk pengaruh volume resin terhadap kemampuan penyisihan kesadahan klorida yaitu volume resin tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida (H_0 gagal ditolak). Hal tersebut diperkuat dengan nilai F_{uji} yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai F_{hitung} ($0,95 < 2,99$). Selain itu, p-value yang dihasilkan oleh interaksi antara volume resin dengan kemampuan penyisihan kesadahan klorida menunjukkan bahwa nilai p-value lebih besar dibandingkan dengan α ($0,458 > 0,05$).

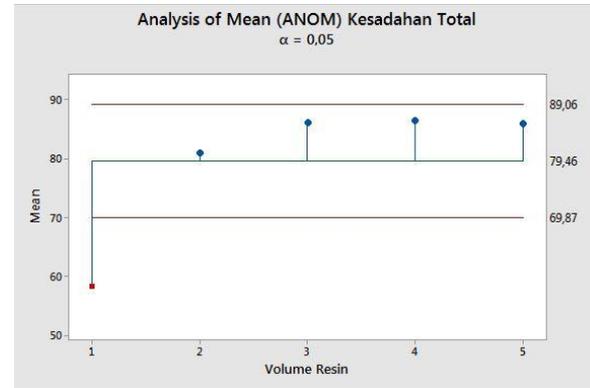
Pengaruh waktu *sampling* dengan kemampuan penyisihan kesadahan klorida ditinjau dari tabel 9, hipotesis yang dapat disimpulkan untuk pengaruh waktu *sampling* terhadap kemampuan penyisihan kesadahan klorida yaitu waktu *sampling* mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida (H_0 ditolak). Hal tersebut disebabkan oleh nilai F_{uji} yang lebih besar dibandingkan dengan nilai F_{hitung} ($7,27 > 2,99$), sedangkan p-value yang dihasilkan oleh interaksi antara waktu *sampling* dengan kemampuan penyisihan kesadahan klorida menunjukkan bahwa nilai p-value lebih kecil dibandingkan dengan α ($0,002 < 0,05$). Berdasarkan analisis *two-way anova*, dapat disimpulkan bahwa volume resin tidak mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida, sedangkan waktu *sampling* mempengaruhi kemampuan penyisihan kesadahan klorida.

ANALYSIS OF MEAN (ANOM)

Analysis of mean dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan volume resin yang memiliki kemampuan penyisihan optimal dalam menyisihkan kesadahan pada air baku ditinjau dari rata-rata kemampuan penyisihan yang dihasilkan. Hasil *analysis of mean* akan ditunjukkan pada gambar 5 dan 6 berikut ini.

Berdasarkan gambar 5, diketahui bahwa *grand mean* yang ditunjukkan oleh garis tengah berada pada titik 79,46 yang berarti rata-rata kemampuan penyisihan kesadahan total dari semua data yang dianalisis berada pada titik 79,46%. *Decision limit* dalam *analysis of mean* ini dibatasi pada titik 89,06% (sebagai *upper decision limit*) dan 69,87% (sebagai *lower decision limit*).

decision limit). Dari rata-rata data hasil pengolahan kesadahan total dengan variasi volume resin yang digunakan, diketahui bahwa rata-rata kemampuan penyisihan kesadahan total pada volume resin 2 liter, 3 liter, 4 liter, dan 5 liter masih berada di dalam *decision limit*.

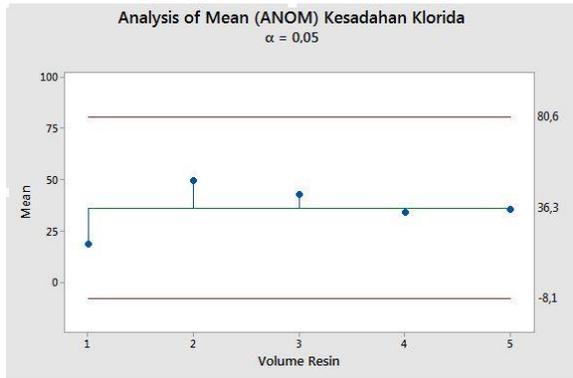


Gambar -5: Hasil *Analysis of Mean* Kemampuan Penyisihan Kesadahan Total

Kemampuan penyisihan kesadahan total dengan volume resin 1 liter berada di luar *decision limit*. Hal tersebut menandakan rata-rata kemampuan penyisihan yang dihasilkan oleh resin dengan volume 1 liter sangat berbeda dengan *grand mean* yang dihasilkan atau proporsi cacat yang dihasilkan oleh data kemampuan penyisihan dengan volume 1 liter sangat besar, sehingga data sebaiknya dihilangkan.

Analysis of mean yang ditunjukkan pada gambar 5 juga digunakan untuk menentukan volume resin terbaik yang dapat digunakan untuk menyisihkan kesadahan total pada air baku. Berdasarkan gambar 5, kemampuan penyisihan kesadahan total rata-rata yang dihasilkan oleh penggunaan resin dengan volume 4 liter berada pada titik 86,3636% dan lebih tinggi dibandingkan kemampuan penyisihan kesadahan total rata-rata yang dihasilkan oleh penggunaan resin lainnya. Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa kemampuan penyisihan kation tertinggi dalam air sumur akan tercapai dengan penggunaan resin kation DOW Amberlite 120 Na pada volume resin 4 liter.

Hasil *analysis of mean* untuk kemampuan penyisihan klorida terbaik akan ditunjukkan pada gambar 6 berikut ini.



Gambar -6: Hasil *Analysis of Mean* Kemampuan Penyisihan Kesadahan Klorida

Berdasarkan gambar 6, diketahui bahwa *grand mean* yang ditunjukkan oleh garis tengah (*center line*) berada pada titik 36,3 yang berarti rata-rata kemampuan penyisihan kesadahan klorida dari semua data yang dianalisis berada pada titik 36,3%. *Decision limit* dalam *analysis of mean* ini dibatasi pada titik 80,6% (sebagai *upper decision limit*) dan -8,1% (sebagai *lower decision limit*). Dari rata-rata data hasil pengolahan kesadahan klorida dengan variasi volume resin yang digunakan diketahui bahwa semua rata-rata kemampuan penyisihan kesadahan klorida yang dianalisis berada di dalam *decision limit*. Hal tersebut menandakan rata-rata kemampuan penyisihan yang dihasilkan tidak terlalu berbeda dibandingkan dengan *grand mean* yang dihasilkan. *Decision limit* yang mencapai nilai negatif pada analisis ini menunjukkan bahwa terdapat *inhibitor* atau senyawa pengganggu yang menghambat proses penyisihan kesadahan klorida dalam semua reaksi yang terjadi selama proses penyisihan kesadahan klorida dalam air baku, sehingga klorida yang telah diikat oleh resin kemudian dilepaskan guna mengikat ion lain yang memiliki koefisien selektifitas yang lebih tinggi.

Berdasarkan gambar 6, kemampuan penyisihan kesadahan klorida rata-rata yang dihasilkan oleh penggunaan resin dengan volume 2 liter berada pada titik 49,733% dan lebih tinggi dibandingkan kemampuan penyisihan kesadahan klorida rata-rata yang dihasilkan oleh penggunaan resin lainnya. Dengan demikian, maka dapat disimpulkan bahwa kemampuan penyisihan anion tertinggi dalam air sumur akan tercapai dengan penggunaan resin anion Lewatit Monoplus M500 OH pada volume resin 2 liter.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan,

maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- a. Kemampuan penyisihan kesadahan yang dapat dicapai dengan menggunakan teknologi *ion exchange* yang dirangkai secara *multi-bed* dengan menggunakan resin penukar kation berupa DOW Amberlite 120 Na dan resin penukar anion berupa Lewatit Monoplus M500 OH adalah sebagai berikut:
 - 1) Kemampuan penyisihan rata-rata yang dihasilkan oleh resin penukar kation dengan variasi volume resin yang digunakan dapat mencapai 58,2353 % (volume resin 1 liter), 80,8491 % (volume resin 2 liter), 86,0417 % (volume resin 3 liter), 86,3636 % (volume resin 4 liter), dan 85,8333 % (volume resin 5 liter).
 - 2) Kemampuan penyisihan rata-rata yang dihasilkan oleh resin penukar anion dengan variasi volume resin yang digunakan dapat mencapai 18,875 % (volume resin 1 liter), 49,7333 % (volume resin 2 liter), 43,0488 % (volume resin 3 liter), 34,1667 % (volume resin 4 liter), dan 35,443% (volume resin 5 liter).
- b. Resin penukar kation terbaik yang dapat digunakan untuk menyisihkan kation dalam air sumur berada pada volume resin 4 liter dengan waktu *sampling* terbaik pada waktu proses ketiga, sedangkan resin penukar anion terbaik yang dapat digunakan untuk menyisihkan anion dalam air sumur berada pada volume resin kedua dengan waktu *sampling* terbaik pada waktu proses kedua.
- c. Resin kation yang digunakan dalam proses penurunan kesadahan memiliki durasi operasional selama tiga jam dalam mencapai titik jenuh sehingga proses regenerasi sebaiknya dilakukan setiap tiga jam sekali. Sedangkan resin anion yang digunakan dalam proses penurunan kesadahan memiliki durasi operasional selama dua jam dalam mencapai titik jenuh sehingga proses regenerasi sebaiknya dilakukan setiap dua jam sekali.

DAFTAR PUSTAKA

- Hayyuningtyas, A. R. (2015). *Penurunan Kadar Cl pada Air Sumur DIII Teknik Kimia Setelah Melewati Demineralized Water dengan Metode Titrasi Argentometri*. Semarang: Program Studi Diploma III Teknik Kimia Program Diploma Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- Bard, A. J. (1966). *Chemical Equilibrium*. New York: Harper & Row Publisher

- Bronsted, J. & Lowry, T. (1923). *Rec. Trav. Chim.*
- David A. & Heather Wansbrough. (1998). *Ion Exchange Resins*. New Zealand: Institute of Chemistry
- Dreizin, Edward L; Berman, Charles H. & Vicenzi, Edward P. (2000). *Condensed-Phase Modification in Magnesium Particle Combustion in Air*. Scripta Materialia
- Siringoringo, Frans Hot Dame Tua. (2015). Teknologi Pengolahan Air Sadah. *Jurnal Teknik Kimia*, 1(9)
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Fourth Edition)*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Peterson, S. (1953). *Annual New York Academy of Science Vol. 57*. New York
- Slater, M. J. (1991). *Principles of Ion Exchange Technology*. New York: Butterworth Heinemann