

Pengurangan Kesadahan Ca, Mg dan Logam Berat Fe, Mn, Zn dalam Bahan Baku Air Minum dengan Menggunakan Zeolit Asal Cikalong, Tasikmalaya

Husaini dan Trisna Soenara

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara
Jl. Jend. Sudirman 623, Bandung 40211, Telp. 022-630483 Fax. 022-6003373
Email: husaini@tekmira.esdm.go.id

ABSTRAK

Uji coba pengolahan air baku dalam rangka menurunkan tingkat kesadahan (Ca dan Mg) dan kandungan logam-logam berat (Fe, Mn dan Zn) dalam contoh air baku telah dilakukan dengan cara mengalirkan air tersebut ke dalam kolom yang berisi unggun zeolit aktif. Uji coba ini menghasilkan air olahan yang telah memenuhi syarat baku mutu air minum berikut parameternya. Zeolit alam asal Cikalong, Tasikmalaya yang diaktifkan mampu menurunkan kadar Ca, Mg, Fe, dan Mn dalam larutan contoh melalui proses pertukaran kation dengan metode perkolasi menggunakan laju alir optimum 5 Volume Bed/jam pada ukuran butir -10+18 mesh terutama untuk penurunan kadar Ca dan Mg. Sedangkan untuk Fe dan Mn diperoleh kondisi optimum pada zeolit berukuran butir -10+18 mesh dengan laju alir 10 Volume Bed/jam. Air hasil olahan tersebut mengandung Mn 0,08 ppm dan Zn 0,024 ppm, sedangkan kesadahan dan kadar ion-ion logam lainnya sudah berada di bawah ambang batas yang dipersyaratkan (Nilai ambang batas untuk Fe, Mn, dan Zn berturut-turut 0,30 ppm, 0,10 ppm, dan 0,05 ppm).

Kata kunci: Kesadahan air, logam berat, bahan baku air minum

ABSTRACT

DECREASING THE HARDNESS Ca, Mg AND HEAVY METALS Fe, Mn, Zn IN RAW WATER WITH ZEOLITE FROM CIKALONG, TASIKMALAYA. *The decrease of hardness (Ca, Mg) and heavy metal (Fe, Mn, Zn) contents in raw water was conducted by flowing the sample water through the activated zeolite bed column. Treated water obtained from the experiment obviously met the parameter in standard requirement of drinking water. Activated natural zeolite from Cikalong, Tasikmalaya is able to decrease the content of Ca, Mg, Fe, and Mn in the sample water through the cation exchange process by percolation method with the optimum flow rate of 5 volume bed/hour on the zeolite with the particle size of -10+18 mesh especially for decreasing the hardness (Ca and Mg content). On the other hand, optimum condition for decreasing Fe and Mn contents are reached on the zeolite with the particle size of -10+18 mesh and water flow rate of 10 volume bed/hour. The final treated water contained 0,08 ppm Mn and 0,024 ppm Zn, meanwhile the hardness and other cations have been reduced below the required limit value (0,30 ppm for Fe, 0,10 ppm for Mn, and 0,05 ppm for Zn).*

Keywords: Hardness, heavy metals, standard drinking water

PENDAHULUAN

Air yang biasa dipakai sebagai sumber air minum baik air tanah maupun air permukaan kadang-kadang berwarna,

berbau dan berasa. Hal ini disebabkan adanya kontaminasi oleh bahan lain seperti: klorin, sulfur, besi, dan mangan. Selain itu pada air tersebut biasanya mengandung kesadahan, kelebihan ion

besi, hidrogen sulfida, keasaman, dan kekeruhan. Kontaminan lain dalam air bisa juga berupa bahan organik, partikel padat, logam timbal, merkuri, limbah minyak dan parasit yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Umumnya kontaminan ini dapat dihilangkan secara konvensional dengan menggunakan filter karbon aktif. Tetapi bila air sumber tersebut mengandung polutan lain yang membahayakan kesehatan manusia perlu dipilih teknologi pengolahan air yang cocok untuk menghilangkannya. Reynold, T.D., 1982 [1].

Air akan menjadi sadah bila mengandung mineral kalsium, magnesium dan besi yang berlebih. Mineral-mineral ini dapat membentuk kerak pada peralatan dan perpipaan sehingga dapat menghambat aliran air. Selain itu kesadahan juga menghambat terbentuknya busa pada sabun dan detergen. Sedangkan kekeruhan diakibatkan oleh adanya partikel-partikel padat tersuspensi dalam air sehingga air terlihat keruh. Partikel-partikel ini biasanya berupa partikel besar berupa butiran yang dapat terlihat oleh mata maupun partikel kecil yang tidak terlihat. Reynold, T.D., 1982 [1]; Husaini, dkk., 2001 [2].

Zeolit merupakan salah satu mineral yang mempunyai kemampuan sebagai penukar kation dan berfungsi sebagai bahan penyaring dalam suatu media air. Kemampuan tersebut ditunjukkan oleh tingkat kapasitas tukar kation (KTK) yang dimiliki zeolit sehingga material dan kontaminan yang ada dalam air dapat diikat oleh zeolit aktif. Arifin, M. 1991 [3]; Anwar, K.P. dan Y. Nugraha. 1985 [4]; Mumpton, F.A. 1998 [5]. Zeolit yang berasal dari daerah Cikalong, Tasikmalaya bila sudah diaktifkan dapat digunakan sebagai bahan penyaring untuk keperluan pengolahan air bersih. Sutopo, F.X., Wijayanti, R. 1991 [6]; Husaini, dkk., 2001 [2].

Maksud penelitian ini adalah mengolah air baku pada skala laboratorium dengan

cara perkolasi menggunakan kolom gelas berdiameter 2 cm yang diisi zeolit aktif. Sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat kemampuan dan kapasitas dari bahan penyaring tersebut terhadap penurunan kesadahan air, kandungan logam besi dan logam mangan.

Metode yang digunakan yaitu dengan membuat contoh air baku pada kondisi kandungan kontaminannya melebihi ambang batas standar air baku kemudian air baku tersebut dilewatkan ke dalam unggun zeolit aktif pada kondisi tertentu. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan memvariasikan ukuran butir unggun zeolit, laju alir contoh air baku yang lewat unggun zeolit dan waktu kontak. Dari ujicoba ini diharapkan dapat diperoleh kualitas air baku yang telah memenuhi syarat standar air baku sebagai air minum.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan

- **Air contoh:** Air contoh/baku yang digunakan untuk penelitian ini sengaja dibuat (*artificial*) dengan cara melarutkan garam yang mengandung besi dan mangan yang konsentrasinya diatur sekitar 10 ppm besi dan 10 ppm mangan. Contoh air ini dibuat untuk memudahkan pengamatan kapasitas zeolit sebagai penukar kation sampai jenuh.

Larutan contoh diusahakan mempunyai pH mendekati netral sehingga pada larutan yang bersifat asam (pH 4,83) perlu ditambahkan natrium hidroksida 6M sampai diperoleh pH 6,55. Hal ini dilakukan karena pertukaran kation akan berlangsung dengan baik dalam suasana mendekati netral. Bila larutan bersifat asam, maka kation-kation logam yang telah tertukar dapat larut kembali dan terbawa bersama larutan yang telah melewati unggun zeolit. Sebaliknya bila larutan bersifat basa, maka kebanyakan logam akan mengendap. Hal ini akan

menurunkan konsentrasi ion logam dalam larutan sebelum proses pertukaran kation dalam unggun zeolit dilakukan.

- **Zeolit aktif:** berukuran -10+18 mesh dan -18+30 mesh dengan nilai KTK antara 140 – 160 meq/100 g,

- **Pasir aktif:**

Peralatan yang digunakan

Untuk melaksanakan percobaan pengolahan air baku pada skala laboratorium ini dibutuhkan beberapa jenis peralatan, antara lain kolom gelas, beaker glass, pengaduk, gelas ukur, stop watch, serta alat untuk keperluan analisis seperti *atomic absorption spectrophotometer*, pH meter, alat titrasi, dsb.

Prosedur Percobaan

- Siapkan contoh air baku pada kondisi tertentu
- Kecilkan ukuran butir zeolit sampai diperoleh berbagai macam ukuran (-10+18 mesh, -18+30 mesh)
- Aktifkan zeolit pada kondisi tertentu dengan penambahan NaOH
- Siapkan unggun zeolit untuk percobaan perkolasi
- Alirkan air baku ke dalam unggun zeolit aktif

Percobaan-percobaan dilakukan dengan memvariasikan laju alir dan ukuran butir zeolit seperti tercantum dibawah ini:

- a. Variasi Laju alir: 15 volume bed/jam ; 10 volume bed/jam dan 5 volume bed/jam
- b. Variasi ukuran butir zeolit aktif: -10+18 mesh dan -18+30 mesh

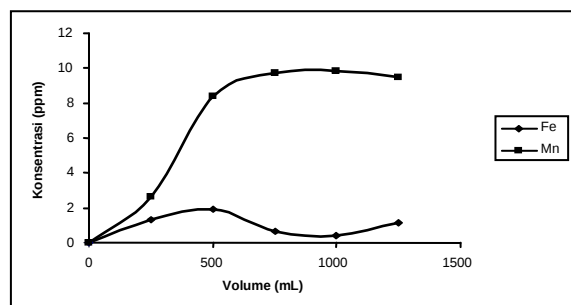
HASIL-HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan penurunan kandungan ion Fe dan Mn

Untuk Zeolit Ukuran Butir -10+18 mesh

a. Variasi Laju Alir: (15; 10 dan 5) volume bed/jam

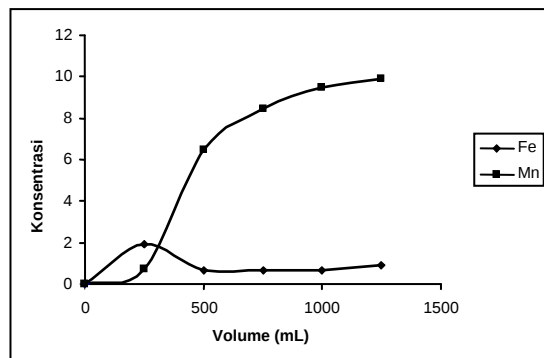
Pada variasi ini sejumlah larutan contoh dialirkan melalui unggun zeolit berukuran butir -10+18 mesh sebanyak 1,5 gram dengan masing masing laju alir 15 ; 10 dan 5 volume bed/jam. Larutan contoh yang telah melewati unggun zeolit aktif ditampung masing-masing sebanyak 250 mL. Konsentrasi besi dan mangan diukur sehingga diperoleh data yang dapat dibuat suatu hubungan antara volume larutan contoh yang digunakan terhadap konsentrasi logam terukur seperti terdapat pada Gambar 1 ; 2 dan 3 di bawah ini.



Gambar 1. Grafik hubungan antara volume dengan konsentrasi ion besi dan mangan pada laju alir 15 VB/jam

Dari grafik (Gambar 1) terlihat bahwa zeolit dapat melakukan pertukaran ion dengan baik terhadap ion logam Mn. Konsentrasi Mn mengalami penurunan setelah melewati unggun zeolit lalu perlahan-lahan naik kembali sampai mendekati konsentrasi awalnya. Hal ini menunjukkan bahwa ion logam Mn telah mengalami pertukaran ion dengan zeolit sehingga konsentrasinya menurun dan pada saat tertentu konsentrasinya naik mendekati konsentrasi awalnya akibat zeolit mulai jenuh terhadap ion Mn. Pertukaran ion logam Fe dengan zeolit terlihat, bahwa konsentrasi ion Fe menurun kemudian perlahan-lahan naik sampai mendekati konsentrasi awalnya, tetapi zeolitnya belum mencapai titik jenuh. Hal ini dimungkinkan karena ion logam Fe mudah teroksidasi sehingga terjadi pengendapan. Dengan demikian perlu volume larutan contoh lebih banyak

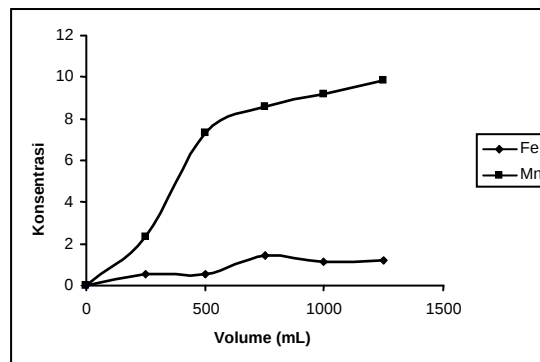
agar zeolit mencapai titik jenuhnya. Pada kondisi laju alir 15 VB/jam, harga kapasitas tukar kation untuk ion Fe 0,76 dan untuk Mn 0,25, sedangkan harga selektivitas untuk Fe 3,07 dan untuk Mn 0,29.



Gambar 2. Grafik hubungan antara volume dengan konsentrasi ion besi dan mangan pada laju alir 10 VB/jam

Pada laju alir 10 VB/jam (Gambar 2) terlihat bahwa zeolit mampu melakukan pertukaran ion dengan baik terhadap ion logam Mn yang menghasilkan konsentrasi ion Mn relatif kecil setelah larutan contoh melewati zeolit. Konsentrasi tersebut terus naik mendekati konsentrasi awal yang menandakan bahwa zeolit perlahan-lahan mengalami kejenuhan. Untuk ion logam Fe, kondisi zeolit belum menunjukkan kejenuhannya karena konsentrasinya yang cenderung menurun dan konstan. Oleh karena itu diperlukan jumlah larutan contoh yang relatif lebih banyak untuk melihat kejenuhan zeolitnya. Pada laju alir ini harga kapasitas tukar ion untuk Fe adalah 0,79 mg/g dan untuk Mn adalah 0,32 mg/g, sedangkan harga selektivitas untuk ion Fe adalah 3,62 dan untuk ion Mn adalah 0,47.

Pada laju alir 5 VB/jam (Gambar 3) terlihat pertukaran ion yang baik antara zeolit dengan ion logam Mn karena konsentrasi ion Mn telah mendekati konsentrasi awal setelah sejumlah tertentu larutan contoh melewati zeolit. Namun untuk ion logam Fe tidak menunjukkan tanda-tanda zeolit sudah mulai jenuh karena konsentrasi ion Fe belum mendekati konsentrasi awalnya.



Gambar 3. Grafik hubungan antara volume dengan konsentrasi ion besi dan mangan pada laju alir 5 VB/jam

Hal ini sulit tercapai mengingat ion logam Fe yang mudah teroksidasi membentuk endapan sehingga konsentrasi ion logam Fe terus mengalami penurunan. Pada laju alir ini harga kapasitas tukar ion untuk Fe 0,58 mg/g dan untuk ion logam Mn 0,31 mg/g, sedangkan harga selektivitas ion logam Fe 2,5 dan Mn 0,45.

b. Jumlah Kation Logam Fe dan Mn yang Tertukar

Dari ketiga variasi laju alir di atas dapat dilihat banyaknya kation logam Fe yang tertukar oleh zeolit (berat 1,5 gram) seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah ion logam Fe yang tertukar pada setiap fraksi volume oleh zeolit berukuran butir -10+18 mesh.

Laju Alir (VB/jam)	Fraksi volume (250 mL)	Konsentrasi (ppm)	Jumlah logam tertukar (X) (mg)	Jumlah logam tertukar /berat zeolit (X/m), (mg/g)
15	1	1.29	0.78	0.52
	2	1.93	0.62	0.41
	3	0.64	0.94	0.63
	4	0.39	1.00	0.67
	5	1.16	0.81	0.54
10	1	1.93	0.62	0.41
	2	0.64	0.94	0.63
	3	0.64	0.94	0.63
	4	0.64	0.94	0.63
	5	0.91	0.87	0.58
5	1	0.52	0.97	0.65
	2	0.52	0.97	0.65
	3	1.43	0.74	0.49
	4	1.15	0.81	0.54
	5	1.23	0.79	0.53

Dengan membandingkan jumlah logam tertukar pada setiap laju alir, maka dapat ditentukan laju alir yang paling baik untuk pertukaran ion antara zeolit berukuran butir -10+18 mesh dengan ion logam Fe adalah 10 VB/jam. Demikian juga untuk ion logam Mn, dari ketiga variasi laju alir pada Tabel 2 dapat dilihat banyaknya kation logam Mn yang tertukar oleh zeolit (berat 1,5 gram).

Tabel 2. Jumlah ion logam Mn yang tertukar pada setiap fraksi volume oleh zeolit berukuran butir -10+18 mesh.

Laju Alir (VB/jam)	Fraksi volume (250 mL)	Konsentrasi (ppm)	Jumlah logam tertukar (X) (mg)	Jumlah logam tertukar /berat zeolit (X/m) (mg/g)
15	1	2.65	1.92	1.28
	2	8.,39	0.49	0.33
	3	9.72	0.16	0.10
	4	9.87	0.12	0.08
	5	9.51	0.21	0.14
10	1	0.74	2.40	1.60
	2	6.48	0.97	0.64
	3	8.45	0.47	0.31
	4	9.51	0.21	0.14
	5	9.93	0.10	0.07
5	1	2.36	1.99	1.33
	2	7.31	0.76	0.51
	3	8.56	0.45	0.29
	4	9.15	0.29	0.19
	5	9.81	0.13	0.09

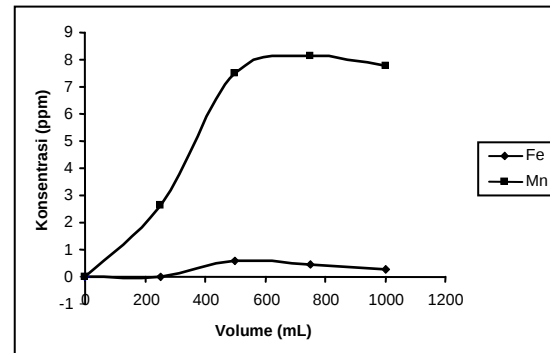
Dari data pada Tabel 2 dapat dilihat, bahwa laju alir yang paling baik untuk pertukaran ion antara zeolit berukuran butir -10+18 mesh dengan ion logam Mn adalah 10 VB/jam.

Untuk Zeolit Berukuran Butir -18+30 mesh

a. Variasi Laju Alir: (15; 10 dan 5) Volume Bed/Jam

Pada variasi ini sejumlah larutan contoh dialirkan melalui unggun zeolit berukuran butir -18+30 mesh dengan laju alir (15; 10 dan 5) VB/jam. Larutan contoh yang telah melewati zeolit ditampung masing-masing sebanyak 250 ml lalu diukur konsentrasi ion logam Fe dan Mn. Dari data tersebut dapat dibuat suatu hubungan antara

konsentrasi ion logam Fe dan Mn terukur terhadap volume larutan contoh yang digunakan, seperti terlihat pada Gambar 4; 5 dan 6.

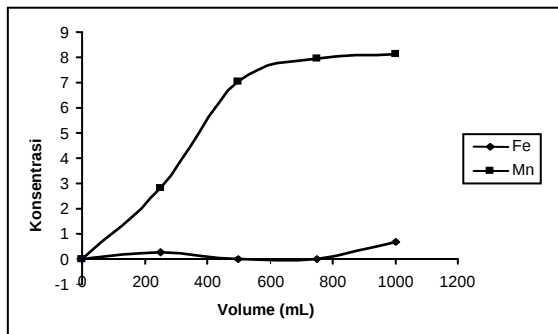


Gambar 4. Grafik hubungan antara volume dengan konsentrasi ion besi dan mangan pada laju alir 15 VB/jam

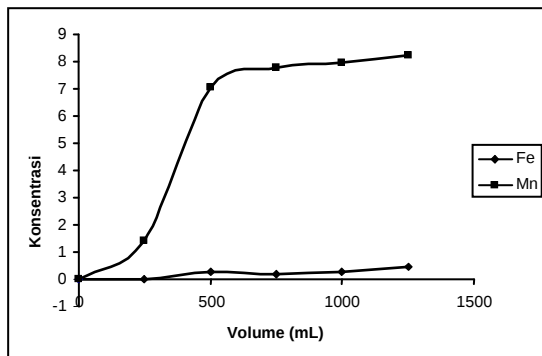
Dari grafik di atas (Gambar 4) terlihat, bahwa zeolit dapat melakukan pertukaran ion dengan Mn karena konsentrasi Mn mula-mula turun dan perlahan-lahan naik mendekati konsentrasi awalnya setelah melewati unggun zeolit. Tetapi hal ini tidak terjadi pada ion logam Fe, karena konsentrasi ion logam Fe sangat kecil sehingga zeolit belum mencapai titik jenuh. Pada laju alir ini harga kapasitas tukar kation untuk Fe adalah 0,44 mg/g dan untuk Mn adalah 0,31 mg/g, sedangkan harga selektivitas untuk Fe adalah 1,36 dan untuk Mn adalah 0,44.

Seperti halnya pada laju alir 15 VB/jam, pada laju alir 10 VB/Jam ini zeolit dapat melakukan pertukaran ion dengan Mn sampai mendekati konsentrasi awalnya. Tetapi zeolit belum mencapai titik jenuhnya pada pertukaran ion dengan Fe karena konsentrasi ion logam Fe yang kecil bila dibandingkan dengan konsentrasi ion logam Mn. Faktor lain karena ion logam besi mudah teroksidasi membentuk endapan. Pada laju alir ini harga kapasitas tukar kation untuk Fe adalah 0,27 mg/g dan untuk Mn adalah 0,31 mg/g, sedangkan harga selektivitas untuk Fe adalah 1,14 dan untuk Mn adalah 0,45.

Demikian juga untuk laju alir 5 VB/Jam, fenomenanya sama seperti laju alir 15 VB/jam dan 10 VB/jam di mana pada laju alir 5 VB/Jam ini harga kapasitas tukar kation untuk ion logam Fe adalah 0,58 mg/g dan untuk Mn adalah 0,31 mg/g, sedangkan harga selektivitas untuk ion logam Fe adalah 2,5 dan untuk Mn adalah 0,45.



Gambar 5. Grafik hubungan antara volume dengan konsentrasi ion besi dan mangan pada laju alir 10 VB/jam.



Gambar 6. Grafik hubungan antara volume dengan konsentrasi ion besi dan mangan pada laju alir 5 VB/jam.

b. Jumlah Kation Logam Fe dan Mn yang Tertukar

Dari ketiga variasi laju alir dapat dilihat banyaknya kation logam besi yang tertukar oleh zeolit (berat 1,5 gram) seperti terlihat pada Tabel 3 pada halaman berikutnya. Dari data pada Tabel 3 dapat dilihat, bahwa kemampuan zeolit melakukan pertukaran ion dengan logam besi menunjukkan, bahwa jumlah besi yang tertukar pada laju alir 5 VB/jam

adalah yang paling besar dibandingkan dengan jumlah besi tertukar pada laju alir lain sehingga dapat dikatakan laju alir yang paling baik untuk pertukaran ion antara zeolit berukuran butir -18+30 mesh dengan ion logam besi adalah 5 VB/jam.

Dari tiga variasi laju alir, banyaknya masing-masing kation logam mangan yang tertukar oleh zeolit (berat 1,5 gram) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Jumlah ion logam besi yang tertukar pada setiap fraksi volume oleh zeolit berukuran butir -18+30 mesh.

Laju Alir (VB/jam)	Fraksi volume (250 mL)	Konsentrasi (ppm)	Jumlah logam tertukar (X), (mg)	Jumlah logam tertukar/berat zeolit (X/m), (mg/g)
15	1	tt	-	-
	2	0.57	0.12	0.08
	3	0.46	0.14	0.01
	4	0.29	0.19	0.12
10	1	0.9	0.19	0.12
	2	tt	-	-
	3	tt	-	-
	4	0.9	0.09	0.06
5	1	Tt	-	-
	2	0.29	0.19	0.12
	3	0.17	0.22	0.14
	4	0.29	0.19	0.12
	5	0.45	0.15	0.10

Tabel 4. Jumlah ion logam mangan yang tertukar pada setiap fraksi volume oleh zeolit berukuran butir -18+30 mesh.

Laju Alir (VB/jam)	Fraksi volume (250 mL)	Konsentrasi (ppm)	Jumlah logam tertukar (X) (mg)	Jumlah logam tertukar/berat zeolit (X/m), (mg/g)
15	1	2.62	1.69	1.13
	2	7.50	0.47	0.32
	3	8.15	0.31	0.20
	4	7.78	0.39	0.27
10	1	2.81	1.64	1.09
	2	7.03	0.59	0.39
	3	7.97	0.35	0.23
	4	8.15	0.31	0.20
5	1	1.41	1.99	1.33
	2	7.03	0.59	0.39
	3	7.78	0.39	0.26
	4	7.97	0.35	0.23
	5	8.23	0.29	0.19

Tabel 5. Perubahan kadar ion Mg^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit aktif.

Fraksi volume (250 mL)	Kadar Mg^{2+} (ppm)		
	Laju alir 5 VB/jam	Laju alir 10 VB/jam	Laju alir 15 VB/jam
Konsentrasi awal	23.2	23.41	20.85
1	1.61	0.96	0.07
2	3.30	4.30	10.15
3	18.41	18.80	19.18
4	23.81	24.10	20.45
5	24.23	24.11	21.17
6	24.23	24.12	21.31

Dari data pada Tabel 4 terlihat, bahwa jumlah mangan yang tertukar pada laju alir 5 VB/jam adalah jumlah yang paling besar dibandingkan dengan jumlah mangan tertukar pada laju alir lain, sehingga dapat dikatakan laju alir yang paling baik untuk pertukaran ion antara zeolit berukuran butir -18+30 mesh dengan ion logam mangan adalah 5 VB/jam.

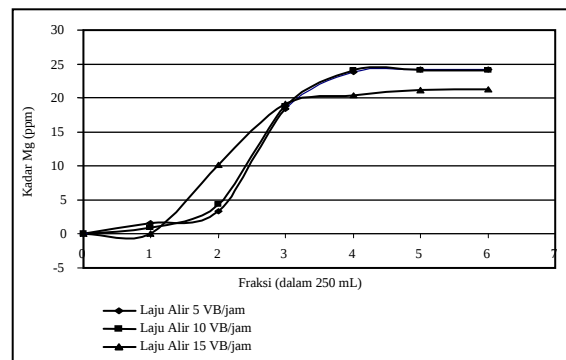
Penurunan kesadahan (Ca dan Mg) dalam air dengan menggunakan zeolit

Hasil Perlakuan Penurunan Kadar Mg^{2+} dalam Contoh Air Menggunakan Zeolit (berat 5,1 g dan ukuran -10+18 mesh)

Setelah memasuki unggun zeolit yang sudah diaktivasi, ion Mg^{2+} yang terdapat dalam contoh air akan mengalami penurunan kadar yang cukup tajam pada fraksi pertama. Pada fraksi volume selanjutnya, kadar Mg^{2+} pada contoh air mengalami kenaikan sampai pada akhirnya akan mencapai kejenuhan di mana tidak terjadi lagi perubahan kadar atau kadar Mg^{2+} relatif konstan. Perubahan kadar Mg^{2+} pada contoh air yang telah melewati unggun zeolit tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 di atas terlihat, bahwa kejenuhan untuk laju alir 5 VB/jam dan 10 VB/jam dicapai pada fraksi volume ke-4 (volume contoh air =1 L), dan untuk laju alir 15 VB/jam dicapai pada fraksi volume ke-5 (volume contoh air =1,25 L). Tabel di atas menunjukkan juga, bahwa setelah

tercapainya kejenuhan, kadar Mg pada fraksi volume selanjutnya menjadi lebih besar dari pada kadar Mg^{2+} dalam contoh air yang belum melewati unggun zeolit. Hal ini disebabkan pada keadaan jenuh zeolit sudah tidak dapat mempertukarkan ataupun mengadsorpsi ion Mg^{2+} lagi. Pada keadaan jenuh inilah terjadi pelarutan kembali ion Mg^{2+} yang terikat oleh zeolit. Dari data perubahan kadar Mg dalam tiap fraksi volume air yang telah melewati unggun zeolit dapat dibuat suatu kurva terobosan (*breakthrough curve*) yang menunjukkan hubungan antara kadar (konsentrasi) adsorbat keluaran dari kolom adsorpsi terhadap fraksi volume (waktu kontak). Kurva terobosan ini dapat juga menunjukkan tingkat kejenuhan adsorben zeolit pada fraksi volume tertentu.



Gambar 7. Kurva terobosan (*breakthrough curve*) kadar ion Mg dalam contoh air yang telah melewati zeolit aktif dengan laju alir 5 VB/jam, 10 VB/jam dan 15 VB/jam.

Dengan menggunakan data perubahan kadar Mg^{2+} dalam air yang telah melewati unggun zeolit dapat diketahui kapasitas tukar kation (KTK) untuk ion Mg^{2+} , kapasitas adsorpsi, dan selektivitasnya seperti terlihat pada Tabel 6. Dari data pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa KTK Mg^{2+} , kapasitas adsorpsi dan selektivitas optimum terjadi pada unggun zeolit dengan laju alir 5 VB/jam, sehingga laju alir optimum ini selanjutnya digunakan untuk menentukan KTK, kapasitas adsorpsi dan selektivitas zeolit berukuran -18+30 mesh dan pasir aktif.

Hasil Perlakuan Penurunan Kadar Ca^{2+} dalam Contoh Air Menggunakan Zeolit (berat 5,1 g dan ukuran -10+18 mesh)

Seperti pada hasil perlakuan terhadap ion Mg^{2+} , setelah memasuki kolom zeolit yang sudah diaktivasi, kadar Ca^{2+} yang terdapat dalam air mengalami penurunan yang sangat tajam pada fraksi volume pertama.

Tabel 6. Data massa Mg^{2+} yang tertukar, kapasitas tukar kation Mg^{2+} , kapasitas adsorpsi dan selektivitas.

Laju alir (VB/jam)	Massa Mg^{2+} tertukar (mg)	KTK Mg^{2+} (mg/100g)	Kapasitas adsorpsi	Selektivitas
5	11.535	226.1765	0.3256	0.4827
10	11.0175	216.0294	0.3138	0.4572
15	8.1925	160.6373	0.2619	0.3549

Tabel 7. Perubahan kadar ion Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit aktif.

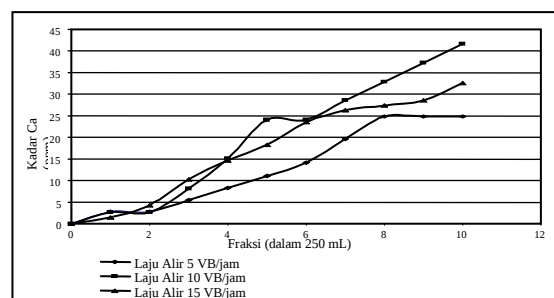
Fraksi volume (250 mL)	Kadar Ca^{2+} (ppm)		
	Laju alir 5 VB/jam	Laju alir 10 VB/jam	Laju alir 15 VB/jam
Konsentrasi awal	24.61	41.70	32.54
1	2.80	2.70	1.43
2	2.81	2.71	4.29
3	5.51	8.09	10.32
4	8.30	15.10	14.65
5	11.05	24.02	18.32
6	14.10	24.09	23.54
7	19.61	28.52	26.36
8	24.80	32.90	27.67
9	24.81	37.30	28.64
10	24.81	41.71	32.53

Tabel 8. Data massa Mg^{2+} yang teratukar, kapasitas tukar kation Ca^{2+} , kapasitas adsorpsi dan selektivitas.

Kolom	Massa Mg^{2+} tertukar (mg)	KTK Mg^{2+} (mg/100g)	Kapasitas adsorpsi	Selektivitas
Zeolit	9.21	164.4643	0.2994	0.4273
Pasir aktif	0.09	0.9	2.39×10^{-3}	$2.396 \cdot 10^{-3}$

Pada fraksi volume selanjutnya, kadar Ca^{2+} dalam contoh air mengalami kenaikan lagi sampai pada akhirnya mencapai kejenuhan dengan kadar Ca^{2+}

relatif konstan. Perubahan kadar Ca^{2+} pada contoh air yang telah melewati kolom zeolit dapat dilihat pada Tabel 6. Dari tabel ini terlihat, bahwa kejenuhan untuk laju alir 5 VB/jam dicapai pada fraksi volume ke-8 (volume contoh air = 2 L), untuk laju alir 10 VB/jam dan 15 VB/jam kejenuhan dicapai pada fraksi volume ke-10 (volume contoh air = 2,5 L). Pada laju alir 5 VB/jam, setelah tercapai kejenuhan, kadar Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit lebih besar dari pada kadar Ca^{2+} pada contoh air yang belum melewati zeolit. Hal ini terjadi karena adanya pelarutan kembali ion Ca^{2+} seperti yang terjadi pada ion Mg^{2+} . Dari data perubahan kadar Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit (Tabel 6) dapat dibuat suatu kurva terobosan kadar Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit (lihat Gambar 7).



Gambar 8. Kurva terobosan (*breakthrough curve*) kadar ion Ca dalam contoh air yang telah melewati zeolit aktif dengan Laju Alir 5 VB/jam, 10 VB/jam dan 15 VB/jam.

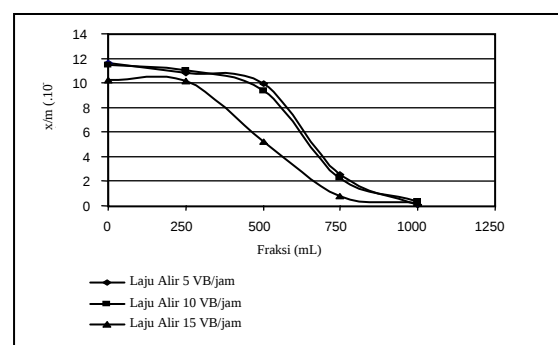
Dengan menggunakan data perubahan kadar Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit (Tabel 7) dapat diketahui kapasitas tukar kation (KTK) untuk ion Ca^{2+} , kapasitas adsorpsi, dan selektivitasnya. Dari data Tabel 8 dapat diketahui, bahwa KTK Ca^{2+} dan kapasitas adsorpsi yang optimum terjadi pada laju alir 10 VB/jam yaitu untuk KTK Ca^{2+} sebesar 979,8039 mg/100g zeolit dan kapasitas adsorpsi 0,4793, sedangkan selektivitas optimum terjadi pada zeolit dengan laju alir 5 VB/jam yaitu sebesar 2,3129. Kondisi optimum yang terjadi pada laju alir yang berbeda ini

disebabkan oleh kadar Ca^{2+} pada contoh air yang mempunyai perbedaan yang besar. Perbedaan kadar Ca^{2+} pada contoh air yang besar ini yang menyebabkan perbedaan harga KTK Ca^{2+} dan kapasitas adsorpsi Ca^{2+} yang besar juga. Pada Tabel 8 terlihat bahwa pada laju alir 10 VB/jam dengan kadar Ca^{2+} awal sebesar 41,70 mg/L, maka massa Ca^{2+} yang teradsorpsi relatif besar, sehingga harga KTK Ca^{2+} dan kapasitas adsorpsi Ca^{2+} juga besar.

Selektivitas Ca^{2+} untuk laju alir 10 VB/jam masih lebih kecil jika dibandingkan dengan selektivitas Ca^{2+} untuk laju alir 5 VB/jam. Hal ini disebabkan oleh selektivitas yang tidak terpengaruh pada konsentrasi yang berbeda. Meskipun harga KTK Ca^{2+} dan kapasitas adsorpsi Ca^{2+} untuk laju alir 10 VB/jam lebih besar dari pada harga KTK Ca^{2+} dan kapasitas adsorpsi Ca^{2+} untuk laju alir 5 VB/jam, akan tetapi keadaan optimum tetap terjadi pada laju alir 5 VB/jam karena selektivitas Ca^{2+} yang paling optimum terjadi pada laju alir 5 VB/jam yaitu sebesar 2,3129. Selain itu keadaan optimum untuk perlakuan terhadap ion Mg juga terjadi pada laju alir 5 VB/jam, sehingga keadaan optimum secara keseluruhan terjadi pada laju alir 5 VB/jam dan laju alir ini yang digunakan untuk perlakuan contoh air pada zeolit dengan ukuran -18+30 mesh dan pasir aktif.

Untuk mengetahui besarnya kapasitas tukar kation dapat juga dilakukan dengan membuat kurva hubungan antara banyaknya ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang tertukar oleh zeolit (x/m) terhadap fraksi volume. Untuk menghitung KTK-nya dilakukan dengan menghitung luas kurva yang dihasilkan. Apabila luas kurvanya besar, maka KTK-nya juga besar. Dari KTK Mg^{2+} (Gambar 9) dapat dilihat bahwa luas di bawah kurva yang dihasilkan oleh perlakuan dengan laju alir 5 VB/jam lebih besar dari pada luas di bawah kurva dari perlakuan dengan laju alir 10 VB/jam dan 15 VB/jam. Jadi kapasitas tukar kation Mg^{2+} yang paling besar terjadi pada perlakuan dengan laju alir 5 VB/jam. Untuk

KTK Ca^{2+} (Gambar 8) dapat dilihat bahwa luas di bawah kurva yang dihasilkan oleh perlakuan dengan laju alir 10 VB/jam lebih besar dari pada luas di bawah kurva dari perlakuan dengan laju alir 15 VB/jam dan luas di bawah kurva dari perlakuan dengan laju alir 15 VB/jam lebih besar dari luas di bawah kurva hasil perlakuan dengan laju alir 5 VB/jam. Jadi kapasitas tukar kation Ca^{2+} yang paling besar terjadi pada perlakuan dengan laju alir 10 VB/jam.



Gambar 9. Kurva hubungan antara volume dengan x/m untuk ion Mg pada contoh air yang telah melewati zeolit berukuran butir -10+18 mesh.

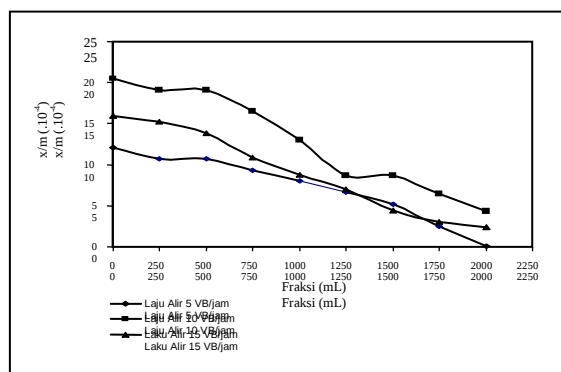
Hasil Perlakuan Penurunan Kadar Ca dan Mg dalam Contoh Air Menggunakan Zeolit (berat 5,6 g dan ukuran -18+30 mesh) dan Pasir Aktif

1. Untuk Ion Magnesium

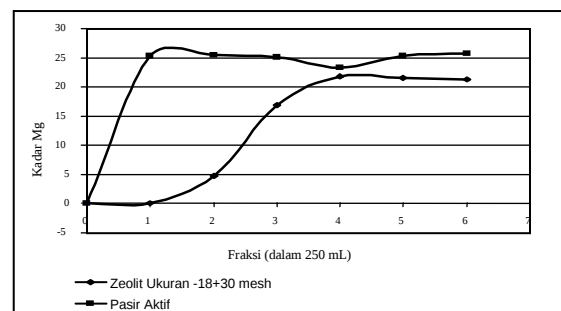
Setelah melewati kolom zeolit aktif berukuran butir -18+30 mesh dan pasir aktif masing-masing dengan laju alir 5 VB/jam, kadar ion Mg^{2+} yang terdapat dalam contoh air akan mengalami perubahan seperti terlihat pada Tabel 9.

Sama seperti pada perlakuan contoh air dengan menggunakan zeolit berukuran butir -10+18 mesh, penggunaan zeolit berukuran -18+30 mesh juga dapat menurunkan kadar Mg^{2+} pada fraksi volume pertama dan kemudian terjadi kenaikan kadar Mg^{2+} lagi pada fraksi volume berikutnya sampai tercapai kejenuhan zeolit. Tetapi pada perlakuan dengan menggunakan pasir aktif untuk fraksi volume pertama sudah tercapai

kejenuhan. Hal ini ditunjukkan oleh kadar Mg^{2+} pada fraksi volume pertama lebih besar dari pada kadar Mg^{2+} pada contoh air yang belum mengalami perlakuan apa-apa. Dari data perubahan kadar Mg^{2+} dalam contoh air yang telah melewati unggun zeolit (Tabel 9) dapat dibuat suatu kurva terobosan kadar Mg^{2+} dalam contoh air yang telah melewati unggun zeolit.



Gambar 10. Kurva hubungan antara volume dengan x/m logam untuk ion Ca pada contoh air yang telah melewati zeolit berukuran butir -10+18 mesh.



Gambar 11. Kurva terobosan (*breakthrough curve*) kadar ion Mg dalam contoh air yang telah melewati zeolit aktif berukuran butir -18+30 mesh dengan laju alir 5 VB/jam

Dengan menggunakan data perubahan kadar Mg^{2+} dalam contoh air yang telah melewati unggun zeolit (Tabel 9) dapat diketahui kapasitas tukar kation (KTK) untuk ion Mg^{2+} , kapasitas adsorpsi, dan selektivitasnya seperti terlihat pada Tabel 10.

Urutan pertukaran kation yang paling baik untuk ion Mg^{2+} pada laju alir 5 VB/jam (laju

alir optimum) adalah: zeolit berukuran butir -10+18 mesh > zeolit berukuran butir -18+30 mesh > pasir aktif.

2. Untuk Ion Kalsium

Setelah melewati kolom zeolit aktif berukuran butir -18+30 mesh dan pasir aktif masing-masing dengan laju alir 5 VB/jam, kadar Ca^{2+} yang terdapat dalam contoh air akan mengalami perubahan seperti terlihat pada Tabel 11.

Kejenuhan zeolit berukuran butir -18+30 mesh terhadap ion Ca^{2+} tercapai pada fraksi volume ke-10, sedangkan untuk pasir aktif pada fraksi volume ke-2 sudah tercapai kejenuhan. Proses penurunan kadar Ca^{2+} yang terjadi sama seperti pada perlakuan terhadap zeolit berukuran butir -10+18 mesh yang telah dibahas pada halaman sebelumnya. Dari data perubahan kadar Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati unggun zeolit (Tabel 11) dapat dibuat suatu kurva terobosan kadar Ca^{2+} dalam contoh air tersebut. Dengan menggunakan data perubahan kadar Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati unggun zeolit (Tabel 11) juga dapat diketahui kapasitas tukar kation (KTK) untuk ion Ca^{2+} , kapasitas adsorpsi, dan selektivitasnya seperti terlihat pada Tabel 12.

Tabel 9. Perubahan kadar ion Mg^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit aktif berukuran -18+30 mesh dan pasir aktif.

Fraksi volume (250 mL)	Kadar ion Mg^{2+} (ppm)	
	Zeolit	Pasir aktif
Konsentrasi awal	20,51	25,10
1	0,03	25,31
2	4,71	25,50
3	16,81	25,07
4	21,81	23,34
5	21,52	25,31
6	21,34	25,71

Tabel 10. Data massa Mg^{2+} yang tertukar, kapasitas tukar kation Mg^{2+} , kapasitas adsorpsi dan selektivitas.

Kolom	Massa Mg^{2+} tertukar (mg)	KTK Mg^{2+} (mg/100g)	Kapasitas adsorpsi	Selektivitas
Zeolit	9.21	164.464	0.2994	0.4273
Pasir aktif	0.09	0.9	2.39×10^{-3}	$2.396.10^{-3}$

Tabel 11. Perubahan kadar ion Ca^{2+} dalam contoh air yang telah melewati zeolit aktif berukuran butir -18+30 mesh dan pasir aktif.

Fraksi volume (250 mL)	Kadar ion Ca^{2+} (ppm)	
	Zeolit	Pasir aktif
Konsentrasi awal	22.90	14.91
1	1.71	11.12
2	1.54	18.33
3	6.91	14.54
4	10.32	14.56
5	12.24	15.23
6	16.43	16.81
7	19.14	14.92
8	20.21	16.42
9	22.10	16.43
10	22.90	14.94

Tabel 12. Data massa ion Ca^{2+} yang tertukar, kapasitas tukar kation Ca^{2+} , kapasitas adsorpsi dan selektivitas.

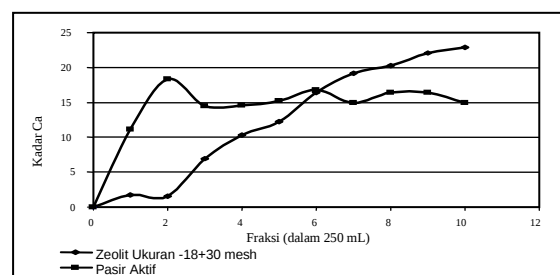
Kolom	Massa Ca^{2+} tertukar (mg)	KTK Ca^{2+} (mg/100g)	Kapasitas Adsorpsi	Selektivitas sampai fraksi volume ke-6
Zeolit	23.875	426.3393	0.417	1.7955
Pasir aktif	-1.05	-	-	-

Tabel 13. Harga selektivitas zeolit berukuran butir -10+18 mesh untuk adsorpsi ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} .

Laju alir (VB/jam)	Selektivitas Mg^{2+}	Selektivitas Ca^{2+}
5	0.4827	2.3129
10	0.4572	2.2383
15	0.3549	1.6911

Tabel 14. Harga selektivitas zeolit berukuran butir -10+18 mesh, -18+30 mesh dan pasir aktif pada laju alir optimum 5 VB/jam untuk adsorpsi ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} .

Kolom	Selektivitas Mg^{2+}	Selektivitas Ca^{2+}
Zeolit ukuran -10+18 mesh	0.4827	2.3129
Zeolit ukuran -18+30 mesh	0.4273	1.7955
Pasir aktif	$2.396.10^{-3}$	-



Gambar 12. Kurva terobosan (*breakthrough curve*) kadar ion Ca dalam contoh air yang melewati zeolit aktif berukuran butir -18+30 mesh, laju alir 5 VB/jam.

Pada perlakuan contoh air menggunakan zeolit aktif berukuran butir -18+30 mesh dan pasir aktif dengan laju alir 5 VB/jam didapat, bahwa untuk zeolit aktif berukuran butir -18+30 mesh didapatkan KTK Ca^{2+} 426,3393 mg/100 g zeolit, kapasitas adsorpsi 0,417 dan selektivitas 1,7955. Untuk perlakuan dengan menggunakan pasir aktif, tidak terjadi pertukaran Ca^{2+} tetapi terjadi pelarutan Ca yang terdapat dalam pasir tersebut yang dapat dilihat dari massa Ca^{2+} yang tertukar bernilai negatif.

Jika data-data di atas dibandingkan dengan data pada perlakuan contoh air dengan menggunakan zeolit berukuran butir -10+18 mesh terlihat, bahwa proses pertukaran kation Mg^{2+} yang paling baik terjadi pada perlakuan contoh air dengan menggunakan zeolit berukuran butir -10+18 mesh dan laju alir 5 VB/jam. Urutan pertukaran kation dari yang paling baik untuk kation Ca^{2+} pada laju alir 5 VB/jam (laju alir optimum) adalah: zeolit berukuran butir -10+18 mesh > zeolit berukuran butir -18+30 mesh > pasir aktif.

d. Harga Selektivitas Zeolit Terhadap Adsorpsi Mg^{2+} dan Ca^{2+}

Dari data hasil percobaan seperti yang terlihat pada Tabel 13 dan Tabel 14 nampak, bahwa zeolit alam asal Cikalong, Tasikmalaya yang sudah diaktifasi mempunyai kemampuan adsorpsi yang lebih besar terhadap ion Ca^{2+} dari pada Mg^{2+} . Hal ini dapat dilihat dari harga selektivitas Ca^{2+} yang lebih besar dari pada Mg^{2+} pada laju alir optimum 5 VB/jam. Harga selektivitas zeolit berukuran butir -10+18 mesh, zeolit berukuran butir -18+30 mesh dan pasir aktif pada laju alir optimum 5 VB/jam dapat dilihat pada Tabel 14. Berdasarkan data pada Tabel 14 tersebut terlihat, bahwa selektivitas yang paling baik diperoleh pada zeolit berukuran butir -10+18 mesh, yaitu 0,4827 untuk Mg^{2+} dan 2,3129 untuk Ca^{2+} .

KESIMPULAN

Dari data-data hasil percobaan dan pembahasan sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Untuk ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}

- Zeolit alam asal Cikalong jenis mordenit yang telah diaktifasi dengan NaOH mampu menurunkan kadar ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe, dan Mn dalam larutan contoh melalui proses pertukaran kation.
- Laju alir optimum pengolahan air dengan zeolit alam asal Cikalong menggunakan metode perkolasi (kolom) adalah 5 *volume bed*/jam.
- Selektivitas pertukaran ion zeolit terhadap Ca^{2+} lebih besar dibandingkan terhadap ion Mg^{2+} yaitu 2,3129 untuk ion Ca^{2+} dan 0,4827 untuk ion Mg^{2+} .
- Kapasitas tukar kation pada keadaan optimum dengan metode perkolasi (laju alir 5 VB/jam dan ukuran butir zeolit -10+18 mesh) adalah 226,1765

mg/100 g zeolit untuk Mg^{2+} dan 523,8725 mg/100 g zeolit untuk Ca^{2+} .

- Zeolit alam asal Cikalong mempunyai kemampuan yang lebih baik untuk mengurangi kadar Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada contoh air dibandingkan dengan pasir aktif.

Untuk ion Fe dan Mn

- Zeolit alam asal Cikalong (ukuran butir -10+18 mesh dan berat 1,5 g) mempunyai kemampuan menukar ion Fe dan Mn yang semakin menurun dengan bertambahnya laju alir. Untuk laju alir 15 VB/jam mampu menukar ion Fe 4,15 mg dan ion Mn 2,9 mg; pada laju alir 10 VB/jam mampu menukar ion Fe 4,31 mg dan ion Mn 4,15 mg; dan pada laju alir 5 VB/jam mampu menukar ion Fe 4,28 mg dan ion Mn 3,62 mg. Sedangkan untuk zeolit berukuran butir -18+30 mesh dan berat 1,5 g mampu menukar ion Fe dan Mn berturut-turut 0,45 mg Fe dan 2,86 mg Mn (laju alir 15 VB/jam), 0,28 mg Fe dan 2,89 mg Mn (laju alir 10 VB/jam) dan 0,75 mg Fe dan 3,61 mg Mn (laju alir 5 VB/jam).
- Laju alir yang paling baik untuk pertukaran ion (cara perkolasi) dengan menggunakan zeolit berukuran butir -10+18 mesh adalah 10 VB/jam, sedangkan untuk zeolit berukuran butir -18+30 mesh adalah 5 VB/jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Reynold, T.D., 1982, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, *PWS-KENT*, Publishing Company, Massachusetts.
2. Husaini dkk., 2001, Pengolahan Air Bersih dan Air Limbah Tekstil dengan Menggunakan Zeolit, *Lokakarya* yang dilaksanakan atas Kerjasama antara Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara dengan Dinas Pertambangan dan Energi Propinsi Jawa Barat pada Bulan November di Bandung.

3. Arifin, M., 1991, Zeolit Alam: Potensi, Kegunaan, dan Prospeknya di Indonesia. Bandung: Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Pusat Pengembangan Teknologi Mineral.
4. Anwar, K.P dan Y. Nugraha, 1985, Prospek Pemakaian Zeolit Bayah Sebagai Penukar Kation. *Laporan Teknik Pengembangan No.62*. Bandung: Pusat Pengembangan Teknologi Mineral.
5. Mumpton, F.A., 1998, La Roca Magica: Uses of Natural Zeolites in Agriculture and Industry, New York: Edit, Inc. ([http://www.pnas.org/Mumpton96\(7\)3463.htm](http://www.pnas.org/Mumpton96(7)3463.htm))
6. Sutopo, F.X., Wijayanti, R., 1991, Pengkajian Karakteristik Zeolit Cikalong Tasikmalaya dan Pemanfaatannya dalam Pengolahan Air, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Pusat Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung.