

EFISIENSI PELUNAKAN AIR SADAH MENGGUNAKAN BENTONIT TERAKTIVASI DENGAN METODE PERTUKARAN ION

Eka Sulistyaningsih

Teknik Industri, Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND YOGYAKARTA
Email: sulistyaningsih@akprind.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pelunakan air sadah menggunakan bentonit yang diaktivasi menggunakan metode pertukaran ion pada kolom kromatografi serta mengetahui pH optimum kondisi kolom yang menghasilkan efisiensi terbesar. Bentonit dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh kemudian digunakan sebagai fasa diam. Aktivasi bentonit dilakukan secara fisika dan kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan kalsinasi pada suhu 400 °C, dan aktivasi secara kimia dengan perendaman menggunakan HCl 1 M. Penentuan kapasitas penukar kation dilakukan dengan menginteraksikan bentonit dengan NaCl jenuh lalu dititrasi dengan NaOH 0,05 N. Penentuan pengaruh pH kolom kromatografi terhadap hasil pelunakan dilakukan dengan memvariasikan pH kolom kromatografi ketika proses pelunakan yaitu pada pH 1-4. Konsentrasi sampel yang mengandung ion kalsium diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 422,7 nm. Sedangkan untuk ion magnesium diukur absorbansinya pada panjang gelombang 285,2 nm. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas penukar ion dari bentonit yang diaktivasi adalah 0,0349 miliequivalen/gram, sedangkan kapasitas penukar kation bentonit yang tidak diaktivasi adalah 0,005 miliequivalen/gram, . Hasil memperlihatkan pH optimum yang menghasilkan persen efisiensi terbesar pada kedua logam dengan bentonit diaktivasi terjadi pada pH 3. Efisiensi terbesar untuk ion kalsium adalah 94,38% dan ion magnesium adalah 98,12%.

Kata kunci: air sadah; bentonit; pelunakan; pertukaran ion; teraktivasi

Pendahuluan

Air merupakan unsur penting dalam kehidupan. Sumber utama air di bumi ini adalah laut, dan semua air akhirnya akan kembali ke laut. Laut bertindak sebagai *reservoir* atau penampung. Air dapat mengalami daur hidrologi. Selama menjalani daur itu, air selalu menyerap zat-zat yang menyebabkan air itu tidak lagi murni. Bahan mineral yang dapat terkandung dalam air karena kontakannya dengan batu-batuan terutama terdiri dari : kalsium karbonat (CaCO_3), magnesium karbonat (MgCO_3), kalsium sulfat (CaSO_4), magnesium sulfat (MgSO_4), dan sebagainya (Atastina, 2007). Dalam beberapa kasus, daerah yang mempunyai lapisan batu gamping umumnya memiliki kualitas air tanah cukup baik, kecuali kandungan unsur dan senyawa mineral tertentu seperti Kalsium (Ca^{2+}) dan Magnesium (Mg^{2+}) yang cukup tinggi sehingga disebut air sadah atau air keras (Siahaan, 2000).

Ambang batas maksimum kesadahan air yang dianjurkan adalah 350 ppm. Jika kadar kesadahan air melewati batas maksimum, maka harus diturunkan yang biasa disebut dengan pelunakan air (*water softening*). Masalah yang timbul karena tingginya kadar kesadahan dalam air antara lain timbulnya kerak pada ketel atau alat masak dan sabun kurang berbusa (jika air digunakan untuk mencuci). Dalam dunia industri, secara ekonomi, hal ini sangat merugikan karena adanya kerak pada ketel atau alat masak akan menyebabkan transfer panas terhambat sehingga panas yang dibutuhkan harus lebih tinggi sehingga dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dan waktu yang lebih lama. Begitu juga jika digunakan untuk mencuci harus digunakan sabun yang lebih banyak. Dalam skala rumah tangga, hal ini tidak terlalu dirasakan tetapi dalam skala industri, kerugian yang ditimbulkan sangat besar (Astuti, 2005). Salah satu cara untuk melunakkan air sadah adalah dengan cara pertukaran ion.

Penelitian ini menggunakan bentonit yang diaktivasi sebagai media pertukaran ion. Bentonit merupakan salah satu lempung dari kelompok smektit, yang mengandung 85% montmorilonit. Rumus umum bentonit adalah $(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}\cdot\text{XH}_2\text{O}$. Bentonit ini dapat dijadikan sebagai resin penukar ion untuk proses pemisahan menggunakan metode kromatografi penukar ion. Selama ini bentonit banyak dipakai sebagai bahan penyerap (adsorben). Penggunaan bentonit sebagai penukar ion akan meningkat apabila bentonit diaktivasi. Aktivasi bentonit dapat dilakukan dengan pengasaman yaitu menggunakan asam-asam mineral (HCl, H_2SO_4 , dan HNO_3) maupun dengan pemanasan suhu tinggi. Aktivasi bentonit dengan pemanasan pada suhu tinggi bertujuan untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang melekat sehingga tidak mengganggu proses pertukaran ion. Sebagai

pembandingan, penelitian ini juga menggunakan bentonit yang tidak diaktivasi. Aktivasi dilakukan dengan cara fisika dan kimia. Konsentrasi ion kalsium(II) dan magnesium(II) setelah pertukaran ion dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) kemudian dihitung efisiensinya.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan yang digunakan adalah: bentonit, akuades, CaCl_2 , MgCl_2 , HCl, NaOH, NaCl, kertas saring, glasswool, indikator phenolphthalein (pp). bahan kimia yang digunakan adalah kualitas *pure analysis*.

Metode

Aktivasi Bentonit

Pembuatan fasa diam bentonit diawali dengan mencuci bentonit. Bentonit yang telah dicuci kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan kalsinasi (pemanasan pada ruang tertutup) selama 1 jam pada suhu 400°C untuk menghilangkan air dan menghilangkan zat-zat volatil yang melekat sehingga luas permukaan bentonit bertambah dan mempunyai daya serap yang baik. Aktivasi secara kimia dengan merendam bentonit ke dalam larutan HCl 1 M sambil diaduk selama 1 jam dengan tujuan melarutkan pengotor yang melekat pada bentonit. Selanjutnya bentonit disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Setelah itu, bentonit direndam dengan NaOH selama 1 jam sehingga diperoleh $\text{Na}_2\text{Bentonit}$ sehingga memiliki kapasitas penukar kation yang tinggi. Selanjutnya bentonit disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral, kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 4-5 jam.

Penentuan Kapasitas Penukar Kation

Penentuan kapasitas penukar kation dilakukan dengan menginteraksikan 2,5 gram bentonit dengan 15 mL larutan NaCl jenuh, kemudian diaduk dengan pengaduk magnetik selama 1 jam. Setelah diaduk, residu dan filtrat dipisahkan dengan menggunakan kertas saring, residu dibilas dengan akuades hingga volume filtrat menjadi 50 mL. Sebanyak 10 mL filtrat dititrasi dengan larutan NaOH 0,05 N menggunakan indikator phenolptalein (pp). Kapasitas penukar kation (k), ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$k = \frac{V \cdot N}{W} \times \frac{50}{10} \quad (1)$$

V = volume NaOH, mL,

N = normalitas NaOH, N

W = berat fasa diam bentonit yang digunakan, gram

Proses pertukaran ion

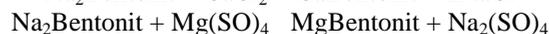
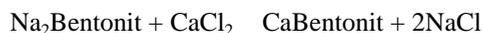
Sebanyak 1000 gram bentonit dimasukkan ke dalam kolom kromatografi dan bertindak sebagai fasa diam. Kemudian mengkondisikan pH kolom pada variasi pH 1-4 dengan HCl. Tujuan pengkondisian ini adalah agar pengikatan ion kalsium dan magnesium maksimal. Pertukaran ion dilakukan dengan mengalirkan air sadah melalui kolom yang berisi bentonit, ion Ca dan ion Mg dalam air sadah ditukar dengan ion Na dalam bentonit. Hal tersebut berlangsung terus sampai suatu saat ion Na dalam bentonit habis ditukar dengan ion Ca dan Mg dari dalam air, pada keadaan ini bentonit tersebut dinamakan telah jenuh yang berarti bentonit tidak mampu lagi melakukan pertukaran ion. Analisa hasil yang dilakukan adalah perubahan konsentrasi setelah air sadah dilewatkan pada bentonit. Proses pertukaran ini dilakukan selama 3 jam dengan kecepatan alir 2,5 cm/detik.

Proses pertukaran ion yang terjadi pada bentonit yang diaktivasi dapat dilihat sebagai berikut :

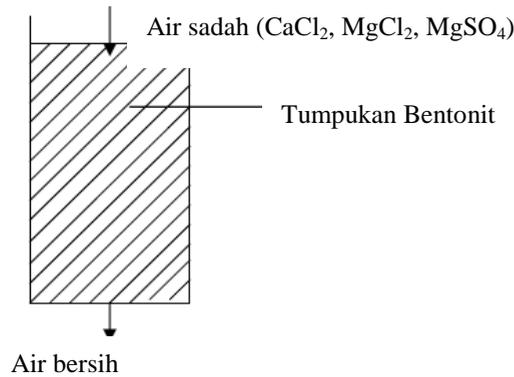
1. Proses aktivasi bentonit (Powell, 1954)



2. Proses *softening*



Gambar 1 memperlihatkan sketsa alat penelitian yang berupa kolom penukar ion berdiameter 4 cm dan tinggi 1,5 m.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

Hasil dan Pembahasan

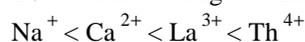
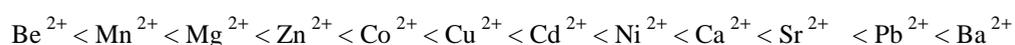
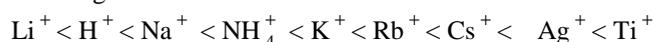
Aktivasi bentonit dapat diartikan sebagai perlakuan baik secara kimia maupun fisika untuk meningkatkan kemampuan bentonit dalam proses pertukaran ion. Aktivasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah aktivasi secara fisika kemudian secara kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan kalsinasi selama 1 jam pada suhu 400 °C. Kalsinasi ini bertujuan untuk menguapkan air dan zat-zat volatil dan pengotor yang ada dalam pori-pori lempung sehingga pori-pori bentonit yang semula tertutup menjadi terbuka. Aktivasi kimia dilakukan dengan merendam bentonit hasil aktivasi fisika dengan HCl kemudian dilanjutkan dengan pencucian dan perendaman dengan NaOH dengan tujuan memudahkan proses pertukaran ion. Menurut Asril Riyanto (1994:10) tujuan dari penambahan senyawa-senyawa asam ini adalah untuk membersihkan permukaan pori-pori lempung, membuang senyawa-senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang akan dipertukarkan. Penambahan NaOH bertujuan agar diperoleh Na₂bentonit sehingga memudahkan pertukaran.

Kapasitas pertukaran resin penukar kation dapat diukur dengan menetapkan jumlah milligram ekuivalen ion natrium yang diserap oleh 1 gram resin dalam bentuk hidrogennya (Vogel, 1994:199). Kapasitas penukar kation bentonit yang diaktivasi adalah sebesar 0,0349 miliequivalen/gram bentonit kering, artinya setiap gram fasa diam bentonit diaktivasi dapat dipertukarkan dengan 0,0349 miliequivalen ion Ca²⁺ dan ion Mg²⁺. kapasitas penukar ion dari bentonit yang tidak diaktivasi adalah 0,0050 miliequivalen/gram artinya tiap 1 gram fasa diam bentonit tidak diaktivasi dapat dipertukarkan dengan 0,0050 miliekuivalen ion Ca²⁺ dan ion Mg²⁺. Kapasitas penukar kation selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas Penukar Kation Bentonit

Fasa diam	Kapasitas Penukar Kation (KPK) (meq/gram bentonit kering)			KPK rata-rata (meq/gram bentonit kering)	KPK rata-rata (meq/gram bentonit kering)
	Titration 1	Titration 2	Titration 3		
Bentonit diaktivasi 1	0,0299	0,0449	0,0299	0,0349	0,0376
Bentonit diaktivasi 2	0,0349	0,0299	0,0349	0,0332	
Bentonit diaktivasi 3	0,0399	0,0448	0,0498	0,0448	
Bentonit tidak diaktivasi 1	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
Bentonit tidak diaktivasi 2	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	
Bentonit tidak diaktivasi 3	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	

Pada bentonit yang tidak diaktivasi, terdapat kation-kation pengotor seperti Fe²⁺, Fe³⁺, dan Al³⁺ yang berada dalam bentonit dan memiliki afinitas yang lebih besar daripada Na⁺, sehingga Na⁺ tidak dapat menukar kation Fe²⁺, Fe³⁺, Mg²⁺, dan Al³⁺ dalam bentonit. Sehingga nilai kapasitas pertukaran kationnya lebih kecil dibandingkan bentonit yang diaktivasi. Adapun urutan afinitas ion pada penukar ion menurut Pecsok R.L dkk (1976) adalah sebagai berikut:



Persen efisiensi pelunakan air sadah untuk ion magnesium dan kalsium diperlihatkan pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Persen efisiensi pelunakan air sadah (ion magnesium)

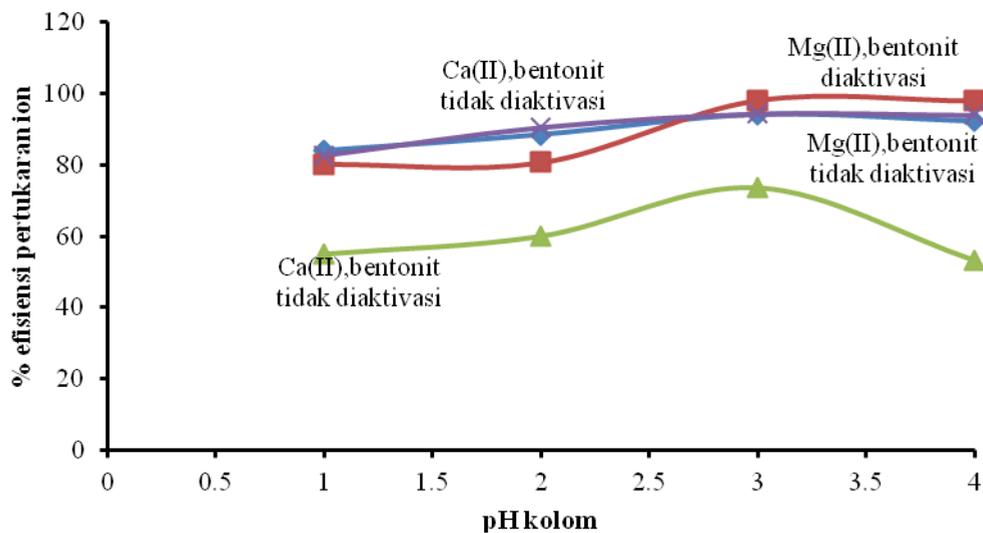
Variasi pH	Ulangan	% Efisiensi ion Mg(II) bentonit diaktivasi	Rata-rata % efisiensi	% Efisiensi ion Mg(II) bentonit tidak diaktivasi	Rata-rata % efisiensi
1	1	62,65	80,31	48,00	55,08
	2	78,39		53,13	
	3	99,89		64,12	
2	1	70,33	80,71	35,17	60,09
	2	83,66		71,08	
	3	88,13		74,01	
3	1	94,80	98,12	59,36	73,77
	2	99,74		78,04	
	3	99,81		83,91	
4	1	94,69	98,02	21,62	53,31
	2	99,65		68,15	
	3	99,71		70,71	

Tabel 3. Persen efisiensi pelunakan air sadah (ion kalsium)

Variasi pH	Ulangan	% Efisiensi ion Ca(II) bentonit diaktivasi	Rata-rata % efisiensi	% Efisiensi ion Ca(II) bentonit tidak diaktivasi	Rata-rata % efisiensi
1	1	76,38	82,38	78,09	83,96
	2	83,86		86,59	
	3	86,91		87,23	
2	1	79,52	90,59	66,82	88,52
	2	94,62		98,89	
	3	97,63		99,85	
3	1	86,05	94,38	82,80	94,27
	2	97,11		99,96	
	3	99,99		99,99	
4	1	82,10	93,99	77,18	92,32
	2	99,92		99,83	
	3	99,95		99,94	

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara pH kondisi kolom dengan % efisiensi pertukaran ion kalsium dan magnesium. pH kolom optimum adalah 3, efisiensi pelunakan kalsium sebesar 94,38%, untuk magnesium 98,12%. Kenaikan efisiensi pada pH 1-3 karena apabila sebuah kation dalam larutan sedang bertukar dengan sebuah ion yang berbeda valensinya, afinitas relatif dari ion yang bervalensi lebih tinggi terhadap penukar ion (penukar ion mengikat Na^+) bertambah berbanding lurus dengan bertambahnya keenceran, dengan kata lain pertukaran akan lebih baik dengan keenceran yang lebih tinggi.

Kapasitas penukar ion merupakan fungsi pH yaitu $RcH \rightleftharpoons Rc^- + H^+$. Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa ionisasi penukar kation RcH menghasilkan Rc^- dan H^+ , yang dipengaruhi oleh pH. Pada pH rendah (pH 4), ionisasi dari penukar kation asam dihambat dan kapasitas penukarannya berkurang sehingga nilai persen efisiensinya rendah. Penurunan persen efisiensi pada pH 4 terjadi kemungkinan karena terbentuknya ion kompleks yang mempunyai kemampuan menerobos ke dalam bentonit lebih kecil dibandingkan dengan kemampuan Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Sudjadi,1988: 130).



Gambar 2. Efisiensi pertukaran ion kalsium dan magnesium

Pada pH tinggi (pH 4), ionisasi penukar ion dihambat dan kapasitas penukarannya berkurang sehingga nilai persen efisiensinya rendah. Penurunan persen efisiensi pada pH 4 kemungkinan karena terbentuknya ion kompleks yang mempunyai kemampuan menerobos ke dalam bentonit lebih besar dibandingkan dengan kemampuan Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Efisiensi ion magnesium(II) lebih besar dibandingkan ion kalsium(II), hal ini disebabkan magnesium memiliki jari-jari atom lebih kecil dibandingkan jari-jari atom kalsium. Ukuran jari-jari atom magnesium 0,072 nm dan kalsium 0,1 nm. Oleh karena itu, apabila kedua ion tersebut diinteraksikan dengan fasa diam bentonit, magnesium akan memiliki kecenderungan yang lebih besar, karena lebih dekat dengan inti yang demikian akan lebih memperkuat interaksi yang terjadi pada permukaan bentonit.

Kesimpulan

Kesadahan sangat merugikan terutama pada penggunaan air industri karena dapat menyebabkan kerusakan alat-alat pemanas. Berdasarkan hal ini, industri-industri yang menggunakan alat pemanas harus melunakkan air yang akan digunakan. Penelitian tentang pelunakan air sadah menggunakan bentonit telah dilakukan. Berdasarkan hasil penelitian, persen efisiensi pelunakan terbesar baik untuk ion kalsium maupun magnesium terjadi pada pH 3. Persen efisiensi terbesar untuk ion kalsium adalah 94,38%, sedangkan untuk ion magnesium adalah 98,12%. Perbedaan ini disebabkan adanya perbedaan ukuran kedua ion dan afinitasnya. Magnesium memiliki ukuran ion lebih kecil dibanding kalsium sehingga lebih dekat dengan inti yang demikian akan lebih memperkuat interaksi yang terjadi pada permukaan bentonit. Kelebihan proses pertukaran ion ini adalah tidak menghasilkan buangan bahan padat yang dapat menimbulkan bahaya lingkungan, bahan pelunak dalam hal ini bentonit dapat diregenerasi.

Acknowledgment

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. Suyanta atas pemberian bentonitnya.

Daftar Pustaka

- Agostinho LCL, Nascimento L and Cavaloanti BF., (2012). Water Hardness Removal for Industrial Use: Application of the Electrolysis Process. *Scientific Reports*, Vol 1 (9) pp:1-5
- Asril Riyanto. (1994). *Bahan Galian Industri Bentonit*. Direktorat Pertambangan Umum Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral
- Astuti Widi. (2005). Proses Pelunakan Air Sadah Menggunakan Zeolit Alam Lampung. *Widya Riset* No. 1 (8). LIPI. UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI
- Fritz, S.J and Srhenk George H. (1979). *Quantitative Analytical Chemistry* Fourth Edition. Boston: Allyn and Bacon, Inc
- Grim, R.E. (1953). *Clay Mineralogy*. United States of America: McGraw Hill Book Company, inc.
- Karna Wijaya, dkk. (2002). Studi Kestabilan Termal dan Asam Lempung Bentonit. *Indonesian Journal of Chemistry*. Volume 2
- Konrad Dorfner, Anton J. Hartono. (1995). *Iptek Penukar Ion*. Yogyakarta: Penerbit Andi

- Marsidi, R. (2001). Zeolit untuk Mengurangi Kesadahan Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol 2 (1) pp:1-10
- Pecsock R.L; Shiel L.D; Cairns T.Mc William. (1976). *Modern Methods of Chemical Analysis 2nd edition*. New York: John Willey and Sons
- Powell, S.T. (1954). *Water Conditioning For Industri*. pp. 146 – 192. Mc.Graw Hill Book Company.Inc. New York.
- Saeed, A.M and Hamzah, M.J., (2013). New approach for removal of total hardness (Ca^{2+} , Mg^{2+}) from water using commercial polyacrylic acid hydrogel beads, study and application. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, Vol 1 (9) pp: 1142-1156
- Sudjadi. (1998). *Metode Pemisahan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius
- Vogel. (1990). *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Diterjemahkan oleh L.Setiono dan A.Hadyana Pudjaatmaka. Jakarta:PT.Kalman Media Pustaka
- Vogel. (1994). *Buku Teks Analisis Anorganik Kuantitatif Makro dan Semimikro*. Diterjemahkan oleh L.Setiono dan A.Hadyana Pudjaatmaka. Jakarta:PT.Kalman Media Pustaka