

Pengkajian Senyawa Alumina Siliko-Fosfat sebagai Pengolah Air Bermasalah: Studi Kasus Air Tanah Pantura (Bekasi dan Karawang)

Dewi Fatimah

Puslit Geoteknologi LIPI, Sangkuriang Bandung
Jl. Cisetu 21/154D Sangkuriang, Bandung 40135 telp. 022-2507771-3
E-mail: dewi.fatimah@geotek.lipi.go

ABSTRAK

Secara alami, zeolit bersifat sebagai penukar kation, namun secara efektif sifat tersebut tergantung pada tingkat porositas, kerapatan tetrahedral, $T(\text{Al},\text{Si})$ ataupun kerangka densitasnya. Efektifitas penukaran kation tersebut dapat berubah karena perubahan struktur, angka banding Si/Al dan ukuran pori efektif. Gugus tetrahedral dalam struktur zeolit dapat disubstitusi secara isomorf oleh gugus lain seperti PO_2^+ , sehingga struktur baru dapat berfungsi sebagai penukar kation maupun anion. Kemampuan tukar kedua jenis ion tersebut tergantung dari ratio Si/Al/P dari hasil proses. Telah dibuat senyawa alumina siliko-fosfat hasil modifikasi mineral silikat alam (zeolit) dengan senyawa ammonium dihidrogen fosfat (ADHP) dengan substitusi antara 30%-40%. Produk telah diujikan terhadap air tanah Pantura yaitu daerah Karawang dan Bekasi yang mempunyai tipe air tanah berupa tipe NaCl, CaCl_2 , MgSO_4 dan tipe campuran $\text{CaCl}_2/\text{CaSO}_4$. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa pada conto sumur tipe NaCl, terjadi penurunan konsentrasi kation kalsium, magnesium, natrium dan kalium berturut-turut sebanyak 32.94 % ; 3.35 % ; 2.52 % dan 23.60 %, dan terjadi pula penurunan konsentrasi anion sulfat sebanyak 15.39 %. Tetapi belum memperlihatkan terjadinya penurunan konsentrasi ion khlorida. Pada sumur tipe CaCl_2 , terjadi penurunan konsentrasi kation kalsium, magnesium dan natrium berturut-turut sebanyak 46.26% ; 18.37%, 16.93 % dan penurunan konsentrasi anion sulfat sebanyak 10.84 %. Sedangkan pada sumur tipe MgSO_4 terjadi penurunan konsentrasi kation kalsium sebanyak 89.71 %, kalium sebanyak 33.31% dan penurunan konsentrasi anion sulfat sebanyak 5.26 %. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efektifitas senyawa alumina siliko fosfat terhadap kation kalsium lebih besar daripada kalium, magnesium dan natrium ($\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Na}$), serta dapat menurunkan konsentrasi anion yang bermuatan negatif dua (sulfat), tetapi belum dapat menurunkan anion bermuatan negatif satu (khlorida). Dan dari kemampuan tukar kation terhadap kalsium dan magnesium yang cukup tinggi, senyawa ASP tersebut berpeluang untuk menurunkan tingkat kesadahan air.

Kata kunci : Alumina siliko-fosfat, Karawang-Bekasi (Pantura), kation, anion sulfat-khlorida

ABSTRACT

STUDY ON ALUMINA SILICO-PHOSPHATE COMPOUND AS WATER TREATMENT: CASE STUDY GROUND WATER PANTURA (BEKASI AND KARAWANG). Naturally, zeolite is a cation exchanger but this property is also depending on porosity, tetrahedral density and frame density. Cation exchange effectiveness can be changed by structure, Si/Al ratio and effective pore size. Tetrahedral group, T, in zeolite is negative charged and can be substituted isomorphically by other group like PO_2^+ . The new structure can be functioned as anion or cation exchanger. The exchange capacity of both ions depends on Si/Al/P ratio from the substitution process. The alumina-silica-phosphate (ASP) compound has been made from zeolite from Cikalong, Tasikmalaya, with ammonium dihydrogen phosphate (ADHP) with substitution rate between 30-40%. This product has been tested to Pantura groundwater, in Bekasi and Karawang areas,

which have groundwater type of NaCl, CaCl₂, MgSO₄ and CaCl₂/CaSO₄. ASP tests on ground water samples show decreasing content of Ca, Mg, Na and K cations in ground water by 32.94%, 3.35%, 2.52% and 23.60% respectively. Sulphate anion also decreases by 15.39% but chloride anion shows no changes. Dig-up well of CaCl₂ type also shows a reduction of Ca, Mg, Na and sulphate contents by 46.26%, 18.37%, 16.39% and 10.84%, respectively. Dig-up well of CaSO₄ type shows Ca, K and sulphate contents decrease of 89.71%, 33.31% and 5.26%, respectively. CaSO₄ dig-up well can be changed to Mg-mix type after processing by ASP compound. Cation exchange capacity of ASP compound to Ca is higher than to K, Mg and Na (Ca>K>Mg>Na). Due to a high cation exchange capacity to K and Mg, ASP compound may be used to reduce the hard water level.

Keywords: Alumina-silica-phosphate, Karawang-Bekasi (Pantura), cation, sulphate-chloride anion

PENDAHULUAN

Zeolit alam umumnya dijumpai dalam batuan tufa, terbentuk dari hasil sedimentasi abu vulkanik yang teralterasi. Karena terbentuk dari proses alami, komposisi dan sifat kimiawi zeolit alam berbeda-beda, tergantung pada lingkungan pembentukannya. Sehingga sebelum melakukan modifikasi sifat zeolit, agar diperoleh zeolit dengan kemampuan yang diharapkan, beberapa hal perlu dilakukan. Antara lain preparasi, untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan, melalui peremukan (*crushing*), sampai penggerusan (*grinding*), proses aktivasi yang bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Kemudian tahap modifikasi dengan mengubah sifat dari struktur zeolit dengan bahan lain, untuk mencapai sasaran yang diperlukan. Kerangka dasar zeolit, terdiri dari unit-unit tetrahedral, T (Si,Al) yang saling berhubungan melalui atom oksigen, mengandung kation alkali/alkali tanah (K, Na, Ca, Ba dan Mg), yang menetralkan gugus Al di dalam struktur, kation tersebut dapat dipertukarkan. Struktur kristal berongga, rongga biasa diisi oleh air, memiliki ukuran pori tertentu sehingga mempunyai sifat penyaring molekul, penukar ion, maupun sebagai penyerap. Sifat tukar

kation secara efektif tergantung pada tingkat porositas, kerapatan tetrahedral, T(Al,Si), kerangka densitas dan efektifitas penukarannya dipengaruhi pula oleh perubahan struktur kristal, angka banding Si/Al dan ukuran pori efektif. Sistem pembentukan struktur sangat dipengaruhi oleh angka banding Si/Al, logam alkali/alkali tanah pembentuknya, tingkat keasaman lingkungan dan kondisi hidrotermal, sehingga memungkinkan peluang rekayasa zeolit sebagai penukar yang efektif.

Kapasitas tukar kation tidak dipengaruhi oleh faktor dalam saja (internal struktur zeolit), tetapi juga faktor eksternal atau faktor luar. Seperti konsentrasi kation dalam larutan dan sifat dari senyawa yang akan dipertukarkan. Di dalam proses tukar kation, dapat pula terjadi fenomena *ion sieving*, karena ketidak sesuaian ukuran pori dengan ion yang masuk, dimana volume lorong atau *channel* pada struktur zeolit tidak mampu mengakomodasi sejumlah kation; adanya pengikatan kation pada tempat lain di luar lokasi pertukaran, serta adanya perubahan fase zeolit setelah proses penukaran kation.

Gugus Al dalam zeolit menyebabkan muatan negatif dalam struktur, sehingga secara alami akan mudah berikatan dengan logam alkali/alkali tanah (M) yang bermuatan positif

(kation), sehingga terbentuk tetrahedral, T (Al,Si)M. Selain dapat disubstitusi oleh logam alkali/alkali tanah, juga dapat disubstitusi oleh gugus lain yang bermuatan positif. Melalui substitusi secara isomorf pada gugus tetrahedral T (Si,Al) oleh gugus lain seperti PO_2^+ , zeolit dapat dimodifikasi menjadi gugus penukar kation maupun anion. Proses yang telah dilakukan yaitu memperlakukan zeolit alam dengan senyawa ammonium dihidrogen fosfat (ADHP), upaya modifikasi tersebut dilakukan untuk melihat peluang pemanfaatannya dalam proses penukaran ion uranium³⁾. Telah pula dilakukan penelitian substitusi zeolit dengan senyawa ADHP tersebut dengan substitusi sebanyak 30%-40%, hasil analisis menunjukkan terjadi penurunan nilai tukar kation, diduga seiring terjadi kemampuan tukar anion⁴⁾. Untuk menguji hasil proses produk, perlu dilakukan pengkajian kemampuan tukar kation dan anion di dalam suatu sistem yang mengandung ke dua ion tersebut. Perkembangan pembangunan di daerah pantai utara Jawa Barat telah memacu perkembangan industri yang mengubah tata guna lahan, kondisi lingkungan, peningkatan sumberdaya alam terutama sumberdaya air. Selain hal tersebut, perkembangan industri di daerah tersebut telah berakibat pula pada limbah hasil buangan industri yang semakin besar jumlah serta jenisnya, sehingga akan berakibat negatif terhadap kondisi lingkungan sumberdaya air.

Air mengalami daur hidrologi, selama menjalani daur tersebut, air kontak dengan zat lain yang menyebabkan air itu tidak lagi murni. Zat-zat yang diserap oleh air alam dapat diklasifikasikan sebagai padatan terlarut, gas terlarut dan padatan tersuspensi. Jenis zat pengotor yang terkandung dalam air bergantung pada jenis bahan yang kontak dengan air tersebut, dan konsentrasi pengotor bergantung pada waktu kontaknya.

Bahan-bahan mineral yang terkandung di dalam air, yang disebabkan karena kontak dengan batu-batuan terutama terdiri dari kalsium karbonat ($CaCO_3$), magnesium karbonat ($MgCO_3$), kalsium sulfat ($CaSO_4$), magnesium sulfat ($MgSO_4$). Air yang banyak mengandung Ca dan Mg dikenal sebagai "air sadah", atau air yang sukar untuk dipakai mencuci. Senyawa kalsium dan magnesium bereaksi dengan sabun membentuk endapan dan mencegah terjadinya busa dalam air. Oleh karena senyawa-senyawa kalsium dan magnesium relatif sukar larut dalam air, maka senyawa-senyawa itu cenderung untuk memisah dari larutan dalam bentuk endapan menjadi kerak

Kondisi air tanah Pantura, dimana sumber air tanah dari dataran tinggi bagian selatan yang membentang dari timur ke barat, bersifat payau ringan dan berat. Air tanah tawar yang diharapkan sebagian besar sudah berubah menjadi payau dan asin. Padahal air merupakan kebutuhan sangat vital bagi kehidupan manusia. Jika kebutuhan air belum tercukupi, memberikan dampak yang besar terhadap kerawanan kesehatan maupun sosial. Air yang layak untuk kehidupan manusia, mempunyai standar persyaratan tertentu, yakni fisis, kimiawi, bakteriologis dan syarat ini merupakan satu kesatuan. Diketahui, tipe air tanah daerah Karawang dan Bekasi berbentuk, $CaHCO_3$, $MgHCO_3$, $NaHCO_3$, $NaCl$, $CaCl$, $MgCl_2$ dan $CaSO_4$ dan nilai DHL bisa mencapai $7200\mu s/cm$ ⁵⁾, sehingga layak dijadikan studi kasus penelitian untuk menguji produk senyawa mikro pori alumina siliko fosfat (ASP) dari hasil modifikasi zeolit alam dengan gugus fosfat. Untuk melihat kemampuan daya tukar kation dan anion dari produk terhadap air tanah di daerah tersebut.

METODOLOGI

Produk *alumina siliko fosfat* (ASP) hasil modifikasi mineral silikat alam (zeolit) Cikancra, Tasikmalaya yang diproses dengan peleburan menggunakan senyawa ammonium dihidrogen fosfat (ADHP) dengan angka substitusi sebesar 30-40%, diujikan terhadap air tanah Karawang dan Bekasi. Dilakukan analisis conto air tanah (*fresh*) dari sumur-sumur gali dengan menggunakan alat-alat antara lain : pH, suhu, daya hantar listrik di lapangan (DHL) serta kuantitas kandungan kation, anion di dalam conto tersebut. Alat-alat lain yang digunakan adalah : *Automatic Absorption Spectrophotometer* (AAS), Turbidimeter, pH-meter, *Electro Conductivitymeter*. Percobaan pengujian produk, dilakukan dengan menggunakan senyawa ASP sebanyak 2 gram terhadap 250 ml air tanah dan diaduk selama 5 (lima) hari pada suhu kamar. Substrat disentrifuge dengan

kecepatan 10.000 rpm dan filtrat ditampung untuk dianalisis kandungan anion dan kation dengan cara AAS, dan volumetri.

HASIL PENELITIAN

Tabel 1. Komposisi kimia zeolit Cikancra, Tasikmalaya

No.	Komposisi	Konsentrasi (%)
1.	SiO ₂	66.64
2.	Al ₂ O ₃	11.98
3.	Fe ₂ O ₃	0.89
4.	MnO	0.01
5.	TiO	0.45
6.	P ₂ O ₅	0.04
7.	CaO	0.14
8.	MgO	0.14
9.	Na ₂ O	3.07
10.	K ₂ O	0.93
11.	LOI	15.65
12.	H ₂ O-	4.69

Tabel 2. Hasil analisis air tanah Karawang/Bekasi yang diperlakukan dengan alumina siliko-fosfat

No.	Air Tanah (sumur gali)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ⁼ (ppm)
1	Kode 5 (fresh)	139.43	285.87	1274.30	34.80	1989.21	390
2	Kode5 (proses)	93.90	276.30	1242.15	26.59	2054.51	330
3	Kode 96 (fresh)	78.40	70.45	143.04	0.95	346.60	166
4	Kode 96 (proses)	42.13	57.51	118.82	1.36	366.70	148
5	Kode 117 (fresh)	417.83	537.79	434.22	2.99	984.56	1900
6	Kode 117 (proses)	373.99	547.07	415.13	8.67	1019.72	1800

Tabel 3. Hasil analisis air tanah daerah Pantura (Karawang & Bekasi)

No	Sumur	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ⁼ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO ₃ (ppm)	Ca (ppm)	pH	Suhu (°C)	DHL
1.	3	51.2	7.69	5.63	518.21	40	557.58	-	43,1	4.63	7.23	28.5	2770
2.	5	1338.2	82.61	00.88	966.61	390	1989.2'	53.06	-	275.06	6.53	29.8	8100
3.	14	488.43	0.99	33.32	64.64	1260	20.56	48.64	-	276.99	6.58	31.70	3590
4.	96	83.81	0.99	75.12	309.61	166	336.56	101.7	-	134.72	6.26	28.60	1920
5.	97	45.58	2.74	15.35	25.32	10.7	86.40	53.06	-	4.91	5.36	28.70	525
6.	117	453.27	52.43	357.09	545.77	1900	994.60	44.22	-	630.69	6.62	28.90	6670
7.	123	182.57	15.87	73.25	348.65	800	30.14	21.23	-	155.83	6.57	30.80	1760

Tabel 4. Tipe air tanah daerah Pantura (Karawang & Bekasi)

No	Sumur	Na*)	K	Na ⁺ K	Ca	Mg	Ca ⁺ Mg	Jml Kat	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Jml Anion	Tipe
1.	3	23.98	0.45	24.42	0.3	1.29	1.52	25.95	8.49	0.83	15.73	25.06	NaCl
2.	5	58.21	4.67	62.88	13.73	16.52	30.25	93.13	15.84	8.12	56.12	80.08	NaCl
3.	14	21.25	0.28	21.53	13.82	10.97	24.79	46.32	9.25	26.25	3.40	38.90	CaSO ₄
4.	96	8.0	0.03	8.02	6.72	6.18	12.90	20.92	5.07	3.46	9.49	18.03	CaCl ₂
5.	97	2.0	0.07	2.05	0.25	1.26	1.51	3.56	0.42	0.22	2.44	3.08	NaCl
6.	117	19.72	1.34	21.06	31.47	29.37	60.85	81.90	8.95	39.58	28.06	76.58	CaSO ₄
7.	123	7.94	0.41	8.35	7.78	6.03	13.80	22.15	5.71	16.66	0.85	23.23	CaSO ₄

Tabel 5. Tipe air tanah daerah Karawang & Bekasi, pra&pasca proses dengan ASP

No	Nomor Sumur	Na	K	Na + K	Ca	Mg	Ca + Mg	Jml Kation	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	Jumlah Anion	Tipe
1.	5*)	55.43	0.86	56.29	6.96	23.52	30.47	86.77	8.12	15.84	56.12	80.08	NaCl
2.	5**)	54.03	0.67	54.71	4.69	22.73	27.41	82.13	6.87	-	57.96	80.67	NaCl
3.	96 *)	6.22	0.02	6.25	3.91	5.80	9.71	15.95	3.46	5.07	9.78	18.31	CaCl ₂
4.	96**)	5.17	0.03	5.20	2.10	4.73	6.83	12.04	3.08	-	10.35	18.50	CaCl ₂
5.	117 *)	18.89	1.1	19.99	20.85	44.24	65.09	85.08	39.58	8.95	27.78	76.30	MgSO ₄
6.	117**)	18.06	0.73	18.79	18.66	45.0	63.66	82.46	39.49	-	28.77	75.21	Mg-Mi

*)Air tanah fresh; **) Air tanah setelah proses

Air tanah *fresh* contoh dari sumur gali (kode 5) daerah Karawang dan Bekasi, mempunyai nilai daya hantar listrik (DHL) paling tinggi sebesar 8100 uS/cm (syarat air minum DHL maksimum 800 uS/cm). Sedangkan konsentrasi natrium sebesar 1338.2 mg/l (syarat air minum MENKES RI/1990, maksimum 200 mg/l), konsentrasi ion klorida dan sulfat masing-masing 1989.21 mg/l dan 390 mg/l (syarat air minum maksimum 250 mg/l). Pada sumur gali kode 117, DHL sebesar 6670 uS/cm, konsentrasi natrium 453.27 mg/l, sedangkan klorida 994.60 mg/l dan sulfat sebesar 1900 mg/l. Dari hasil analisis air tanah *fresh* tersebut, memperlihatkan bahwa air tanah daerah Karawang dan Bekasi tidak memenuhi syarat sebagai air bersih untuk keperluan sehari-hari apalagi sebagai air minum. Melalui proses perhitungan jumlah konsentrasi kation dan anion di dalam contoh air, tipe contoh air tanah sumur gali secara keseluruhan mempunyai dua jenis tipe, yaitu NaCl dan CaSO₄, hal tersebut terjadi karena konsentrasi klorida dan sulfat cukup tinggi.

Air tanah contoh yang diperlakukan dengan senyawa ASP memperlihatkan hasil sebagai berikut : Pada contoh sumur dengan kode 5, tipe NaCl, terjadi penurunan kation Ca, Mg, Na dan K masing-masing sebanyak 32.94%; 3.35%; 2.52%; dan 23.60%. Juga terjadi penurunan anion sulfat sebanyak 15.39%, tetapi belum menunjukkan terjadinya penurunan anion klorida, hal ini mungkin disebabkan substitusi gugus fosfat pada struktur belum optimal untuk maksud tersebut. Kemudian pada sumur gali kode 96, dengan tipe CaCl₂, terjadi pula penurunan konsentrasi Ca, Mg dan Na masing-masing sebanyak 46.26%; 18.37% dan 16.93%, sedangkan sulfat sebanyak 10.84%. Dan pada sumur gali dengan kode 117, bertipe CaSO₄, terjadi penurunan Ca, K sebanyak masing-masing 89.71% dan 33.31%, sedangkan sulfat sebanyak

5.26%. Terlihat pula pada sumur gali dengan kode 117 tersebut, yang mempunyai tipe CaSO₄, setelah diperlakukan oleh senyawa ASP terjadi perubahan tipe air tanah yaitu menjadi tipe Mg-Mix. Hal ini mungkin disebabkan karena daya serap senyawa ASP terhadap kation kalsium lebih tinggi daripada terhadap kation magnesium.

Kemampuan tukar kation senyawa ASP terhadap kation kalsium paling tinggi sedangkan terhadap kation kalium lebih tinggi daripada kation natrium. Hal tersebut, disebabkan karena zeolit alam asal mengandung natrium cukup tinggi yaitu sebesar 3.07%, hal tersebut dapat dilihat pada hasil analisis komposisi zeolit alam. Ini juga memperlihatkan zeolit alam contoh yang berasal dari Tasikmalaya tersebut mempunyai jenis Na mordenit. Jenis tersebut cukup baik digunakan untuk memproses air dengan tingkat kesadahan tinggi, sehingga senyawa natrium dapat dilepaskan dari sistem, dan kalsium akan diikat oleh struktur zeolit.

Fenomena tukar kation pada air tanah contoh di atas, memperlihatkan bahwa, tukar kation tidak saja dipengaruhi oleh faktor dalam saja (struktur zeolit), tetapi juga faktor eksternal. Seperti konsentrasi kation dalam larutan, sifat dari senyawa yang akan dipertukarkan, seperti kondisi dan konsentrasi dari contoh air tanah yang digunakan. Pada proses tukar kation dapat pula terjadi fenomena *ion sieving*, karena ketidaksesuaian ukuran pori dengan ion yang masuk, volume lorong atau *channel* pada struktur zeolit tidak mampu mengakomodasi sejumlah kation, atau karena adanya pengikatan kation pada tempat lain di luar lokasi pertukaran, serta adanya perubahan fase zeolit setelah proses penukaran kation.

Dari hasil percobaan, terlihat bahwa senyawa alumino siliko-fosfat secara kuantitas dapat menurunkan

konsentrasi kation bermuatan positif dua (Ca, Mg), maupun kation bermuatan positif satu (K, Na), serta dapat menurunkan konsentrasi anion yang bermuatan negatif dua seperti sulfat, tetapi belum dapat menurunkan anion bermuatan negatif satu seperti klorida. Dari hasil di atas, yang menarik adalah bahwa kemampuan tukar kation terhadap Ca cukup tinggi, selain mampu juga terhadap kation Mg, maka senyawa ASP tersebut berpeluang untuk menurunkan tingkat kesadahan air, tetapi perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk dapat meminimisasi konsentrasi anion negatif satu (Cl⁻), sehingga berpeluang digunakan sebagai pengolah air tanah yang telah terintrusi air laut .

KESIMPULAN

Kemampuan tukar kation senyawa ASP terhadap kation kalsium lebih besar daripada kalium, magnesium dan natrium (Ca>K>Mg>Na). Senyawa alumino siliko-fosfat secara umum dapat menurunkan konsentrasi kation bermuatan positif dua, maupun kation bermuatan positif satu, serta dapat menurunkan konsentrasi anion yang bermuatan negatif dua (sulfat), tetapi belum dapat menurunkan anion bermuatan negatif satu (klorida). Dan dari kemampuan tukar kation terhadap kalsium dan magnesium yang cukup tinggi, senyawa ASP tersebut berpeluang untuk menurunkan tingkat kesadahan air.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dalam substitusi gugus fosfat ke dalam struktur zeolit agar dapat

meminimisasi konsentrasi anion negatif satu seperti klorida, sehingga senyawa ASP berpeluang untuk menetralkan air tanah yang telah terintrusi oleh air laut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Barrer, RM *Hydrothermal Chemistry of Zeolite*, Academic Press, London, England, 1982
2. De Breuck W., (1991) *Hydrogeology of Salt Water Intrusion*, International Association of Hydrogeologists, *Series Editorial Board*, Volume 11, p.329-335.
3. S.Amini (2001) Upaya Peningkatan Manfaat Zeolit Sebagai Penukar Ion, *Prosiding Seminar Nasional Zeolit II*, 21 Agustus 2001, ISBN 979-96682-0-4.
4. Lenny M.Estiaty (2002) Modifikasi Mineral Zeolit Sebagai Penukar Anion dan Kation, *Jurnal Nusantara Kimia*, No.1.1,vo. IX, Tahun ke-9, 2002.
5. *Laporan Monitoring Sumberdaya Airtanah dan Lingkungan Hidup*, Puslitbang Geoteknologi-LIPI, 1996/1997
6. *Persyaratan Air Minum dan Air Bersih*, Menteri Kesehatan Republik Indonesia, Tahun 1990.
7. Vernon L., (1980) *Water Chemistry*, John Wiley & Sons, New York, Chicester, Brisbane, Toronto.