

Penurunan Kandungan Fosfat dalam Air dengan Zeolit

Rusvirman Muchtar

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jenderal Ahmad Yani

ABSTRAK

Dalam penelitian ini dicoba untuk memanfaatkan zeolit sebagai pengabsorpsi fosfat yang terdapat dalam air. Hasil penelitian menunjukkan pengabsorpsian mencapai 78-82% pada zeolit berukuran 35 mesh dengan kecepatan alir 5 ml/menit untuk zeolit dari Bayah, 80-87 % pada zeolit berukuran 50 mesh dengan kecepatan alir 5 ml/menit untuk zeolit dari Sukabumi. Zeolit yang telah jenuh posfat dapat diregenerasi kembali dengan larutan NaOH 0,5 N.

ABSTRACT

The research was carried out to exploit the use of zeolite for phosphate absorption in the water. The result shows absorption of phosphate into 35 mesh Zeolite from Bayah and 5 ml/minutes stream velocity is 78 to 82 % while that into 50 mesh zeolite from Sukabumi and 5 ml/minutes stream velocity is 80 to 87 %. The saturated zeolite can be regenerated by 0,5 N NaOH.

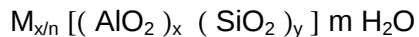
PENDAHULUAN

Zeolit adalah suatu mineral aluminosilikat yang membentuk kerangka 3 dimensi serta mempunyai rongga, dimana luas permukaan dalam rongga jauh lebih besar dari luas permukaan kristal bagian luar zeolit, oleh sebab itu hampir semua aktivitas berlangsung di dalam rongga. Suatu reaksi dapat berlangsung dalam rongga secara efektif, maka reaktan harus dapat berdifusi ke dalam rongga dan produk harus dapat dikeluarkan dari rongga. Difusi molekul ke dalam rongga zeolit mengikuti tipe difusi konfigurasional agar suatu molekul dapat berdifusi, maka harus ada kesesuaian ukuran dan geometri antara molekul yang berdifusi dengan rongga. Di dalam proses pertukaran diperlukan adanya interaksi adsorpsi antara molekul sorbat dengan permukaan yang aktif penukar ion. Di dalam rongga zeolit, kecenderungan sorpsi molekul sorbat adalah tinggi, hal ini disebabkan adanya sistem pori antara kristal yang mengakibatkan molekul mendapat gaya interaksi yang kuat

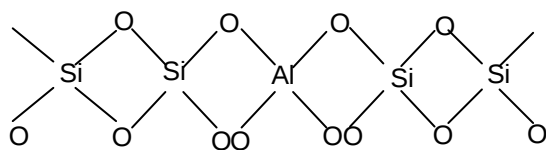
dengan permukaan rongga. Interaksi adsorpsi ini dapat ditingkatkan dengan adanya muatan kerangka dan adanya kation-kation, sehingga dihasilkan suatu medan elektrostatis. Disamping itu proses sorpsi sangat dipengaruhi oleh keasaman dari zeolit. Keasaman zeolit ada kaitannya dengan adanya gugus hidroksil yang berasal dari $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan $\text{Si}(\text{OH})_4$ yang terdapat pada permukaan rongga. Interaksi kation kisi dan gugus hidroksil memungkinkan zeolit dapat diperankan sebagai penukar ion baik ion positif maupun ion negatif. Medan elektrostatis dan keasaman dari zeolit sangat ditentukan oleh struktur dari zeolit dan komposisi (perbandingan Si/Al di dalam zeolit). Perbandingan Si/Al pada zeolit sangat mempengaruhi kestabilan zeolit. Bila proses sorpsi dan pertukaran ion terjadi peningkatan suhu yang cukup tinggi akan terjadi degradasi sifat zeolit, disamping itu bila keasaman terlalu tinggi berpengaruh pada pada ratio Si/Al, karena terjadi pengurangan aluminium pada zeolit (dealuminasi).

Struktur Kimia dan Topologi Kerangka Zeolit

Untuk menggambarkan hubungan antara komposisi kimia dan susunan zeolit secara ideal adalah :



Dimana M adalah ion logam, x, y, m adalah bilangan tertentu dan n adalah muatan dari ion logam. Rumusan diatas menunjukkan struktur satu unit sel dari zeolit dan bagian di dalam kurung menunjukkan komposisi kerangka zeolit, y/x berkisar 1 sampai 5.



Gambar 1. Kerangka aluminosilikat pada zeolit

Struktur kristal zeolit merupakan penyusunan dari sejumlah unit pembangun sekunder yang membentuk lubang dan saluran yang berisikan ion-ion logam dan molekul air, keduanya bebas bergerak sehingga dapat dipakai sebagai penukar ion dan didehidratasi secara reversibel.

Kristal mordenit berbentuk ortorombik, rumus kimia adalah $Na_8(AlO_2)_8(SiO_2)_{40} \cdot 2H_2O$. Struktur rangkanya terdiri atas rantai yang saling berhubungan silang dan dibangun oleh 5 unit yang saling bergabung membentuk dua saluran. Saluran pertama berbentuk ellips dan dibentuk oleh 12 ion oksigen dengan diameter bebas 6,7–7,0°A, sedangkan saluran kedua dibentuk oleh 8 ion oksigen dengan diameter bebas 2,9–5,7°A. Saluran yang satu dengan yang lainnya dihubungkan secara paralel. Untuk mengabsorpsi sejumlah molekul yang lebih besar daripada metana, sistem saluran yang dapat dicapai adalah sistem satu dimensi. Difusi antar saluran tidak mungkin dicapai kecuali untuk molekul yang sangat kecil seperti air.

Dalam sistem pori antar kristal dapat terjadi bahwa molekul sorbat berinteraksi kuat dengan zeolit, interaksi adsorptif di dalam zeolit dapat ditingkatkan dengan adanya muatan dari kerangka dan adanya kation-kation yang menghasilkan medan elektrostatis tertentu. Medan ini lebih tinggi pada zeolit yang mempunyai kadar aluminium yang tinggi. Selanjutnya gradien medan umumnya besar dengan adanya kation yang polivalen (seperti halnya Mg^{2+} dan Ce^{3+}) yang membutuhkan beberapa unit kerangka AlO_4^- untuk menetralkan. Panas dari sorpsi pada daerah permukaan yang sempit mencakup dua tipe kontribusi, yang satu adalah non-spesifik dan yang lain adalah spesifik, yang timbul akibat dari interaksi dipol dan kuadrupol (yang terdapat dalam sorbat) dengan medan elektrostatis di dalam zeolit. Komposisi zeolit asal Jawa barat berdasarkan laporan PPTM dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan selektivitas penukaran kation dari beberapa jenis zeolit pada Tabel 2.

Entalpi dari sorpsi tergantung pada jenis dan kedudukan kation dalam zeolit. Misalnya ion kalsium yang dipertukarkan pada nax akan menutupi daerah pori kecil dalam zeolit yang terdehidrasi, sampai kira-kira 40% dari ion natrium yang dipertukarkan. Ion-ion tersebut menempati rongga besar yang kemudian berinteraksi dengan kuadrupol dari senyawa organik yang menghasilkan kenaikan entalpi sorpsi. Disamping jenis kation dan struktur yang menentukan lokasi, komposisi kerangka zeolit (si/al) mempunyai suatu efek penting dalam sifat-sifat sorpsi. Bila perbandingan si/al naik, kerapatan kation dan kekuatan medan elektrostatis menurun dan afinitas dari permukaan zeolit bagi sorbat non polar akan meningkat (dibandingkan dengan sorbat polar). Karena itu zeolit yang kaya akan aluminium akan lebih besar mengadsorpsi air dibanding hidrokarbon, akan tetapi pada zeolit yang kaya akan silikat akan terjadi hal yang sebaliknya. Disamping efeknya terhadap sorpsi, struktur dan komposisi mempunyai suatu efek dalam difusi

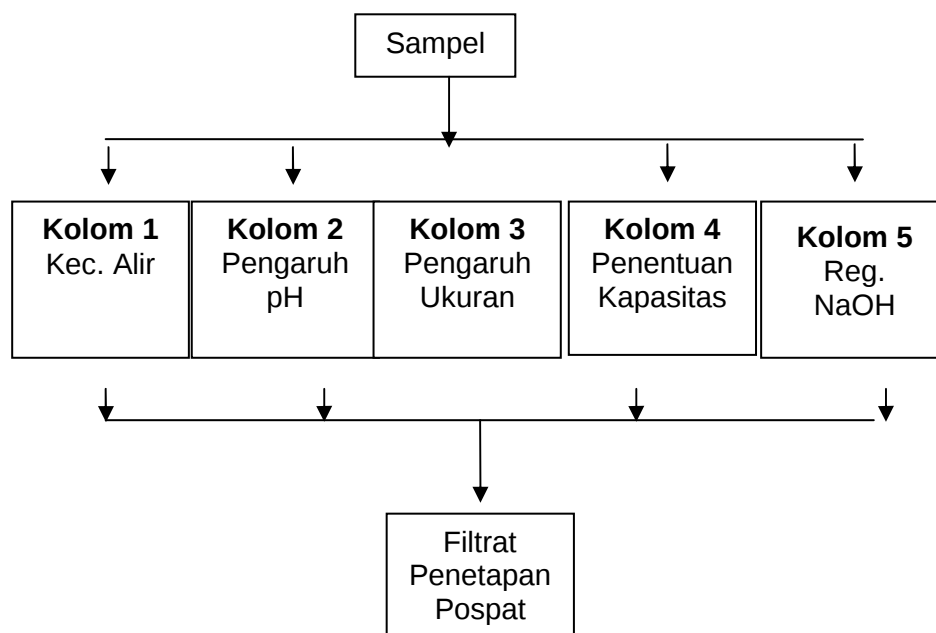
Tabel 1. Komposisi mordenit dan klinoptilolit dalam zeolit asal Jawa barat.

Asal Zeolit	Komposisi (%)		Pengotor
	Mordenit	Klinoptilolit	
Bayah	15.43	59.80	Kuarsa Plagioklas
Sukabumi	35.04	8.87	Plagioklas
Tasikmalaya	72.72	4.42	Plagioklas

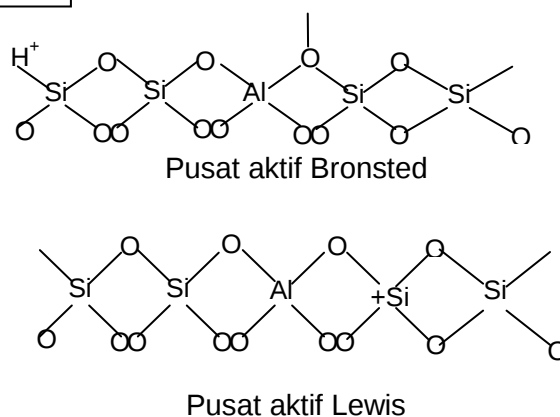
Tabel 2. Hasil penelitian keselektifan zeolit dalam proses pertukaran kation.

Spesi zeolit	Keselektifan tukar kation	Peneliti
Analcime	$K < Li < Na < Ag$	Barrer (1950)
Chabazite	$Li < Na < K < Ca$	Sherry (1969)
Clinoptilolite	$Mg < Ca < Na < NH_4 < K$	Ames (1961)
Heulandite	$Ca < Ba < Sr < Li < Na < Rb < K$	Filozona (1974)
Mordenite	$Li < Na < Rb < K < Cs$	Ames (1961)

Sumber : Pusat Penelitian dan Pengembangan Mineral



Dengan demikian zeolit dapat mengadsorpsi anion melalui proses pertukaran kation, yang sangat ditentukan oleh struktur dan komposisi dari penyusun zeolit tersebut disamping adanya pusat aktif dari gugus hidroksi di dalam rongga zeolit yang dikenal dengan pusat aktif Bronsted. Pada temperatur yang tinggi ($>200^{\circ}\text{C}$) proton pada pusat aktif Bronsted dapat bergerak dan pada temperatur yang lebih tinggi ($>550^{\circ}\text{C}$). Proton ini dapat membentuk H_2O sehingga dapat terjadi suatu bentuk yang baru disebut sebagai pusat aktif Lewis.



METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan dan metoda penelitian ini diarahkan untuk mencari kondisi optimum zeolit dalam menyerap pospat dari air

elalui pendekatan : Pengaruh ukuran terhadap penyerapan pospat; Pengaruh kecepatan aliran terhadap daya serap; Penentuan kapasitas serapan zeolit dan Pengaruh regenerasi.

Batuan zeolit dicuci dan dibersihkan dari kotoran yang melekat dengan aquades, kemudian ditumbuk/dihaluskan dan diayak

sehingga diperoleh ukuran 10 ; 20 ; 35 ; 60; dan 120 mesh. Zeolit kemudian diaktifkan melalui pemanasan di oven pada 150°C selama 4 jam. Zeolit ditimbang sekitar 10 g, dimasukkan ke dalam kolom kaca yang telah terisi glass wool. Kolom siap untuk digunakan pada proses selanjutnya.

HASIL DAN DISKUSI

Kecepatan Alir sampel

Tabel 3. Kondisi awal penelitian untuk penetapan kecepatan alir sampel

Parameter	Lokasi Zeolit	
	BYH	SKM
Berat Zeolit (W)	10 g	10 g
Ukuran Zeolit	10 mesh	10 mesh
Volume sampel	100 ml	100 ml
Temperatur sampel awal	26 °C	26 °C
pH awal	8.65	8.5
Kadar P ₂ O ₅ - P	52.45 mg/L	52.5 mg/L

Keterangan : BYH = Zeolit dari Bayah
SKM = zeolit dari Sukabumi

Tabel 4. Pengaruh kecepatan alir sampel terhadap kadar pospat

Kecep. Alir rata-rata, ml / menit	No.	1	2	3	4
	BYH	2	5	10	15
	SKM	2	5	10	15
t °C	BYH	26	26	26	26
	SKM	26	26	26	26
pH	BYH	8.43	8.81	8.83	8.89
	SKM	8.45	8.76	8.80	8.83
P ₂ O ₅ - P mg / L	BYH	9.55	11.80	15.00	18.25
	SKM	6.71	10.75	16.57	17.73
Penurunan	BYH	81.8	77.5	71.4	65.2
Kapasitas,%	SKM	87.2	79.5	68.4	66.2

Keterangan : BYH = Zeolit dari Bayah
SKM = zeolit dari Sukabumi

Ukuran Butiran Zeolit

Tabel 5. Kondisi awal penelitian untuk penetapan pengaruh ukuran zeolit terhadap kadar pospat

Parameter	Lokasi Zeolit	
	BYH	SKM
Berat Zeolit (W)	10 g	10 g
Kecepatan alir (v)	5 mL/menit	5 mL/menit
Volume sampel	100 ml	100 ml
Temperatur sampel awal	26 °C	26 °C
pH awal	8.45	8.45
Kadar P ₂ O ₅ - P	52.75 mg/L	52.75 mg/L

Tabel 6. Pengaruh ukuran zeolit terhadap kadar pospat

	No.	1	2	3	4
Ukuran mesh	BYH	60	50	35	15
	SKM	60	50	35	15
t °C	BYH	26	26	26	26
	SKM	26	26	26	26
pH	BYH	8.13	8.01	8.03	8.29
	SKM	8.25	8.10	8.25	8.18
P ₂ O ₅ - P mg / L	BYH	9.39	9.28	10.44	18.30
	SKM	7.12	8.18	26.74	28.59
Penurunan Kapasitas,%	BYH	82.2	82.4	80.2	65.3
	SKM	86.5	84.5	49.3	45.8

Keterangan : BYH = Zeolit dari Bayah
SKM = zeolit dari Sukabumi

Pengaruh pH

Tabel 7. Kondisi awal penelitian untuk penetapan pengaruh pH terhadap kadar pospat.

Parameter	Lokasi Zeolit	
	BYH	SKM
Berat Zeolit (W)	10 g	10 g
Ukuran zeolit	35 mesh	50 mesh
Kecepatan alir (v)	5 ml/menit	5 ml/menit
Volume sampel	100 ml	100 ml
Temperatur sampel awal	25 °C	25 °C
pH awal	8.65	8.32
Kadar P ₂ O ₅ - P	54.35 mg/L	54.35 mg/L

Tabel 8. Pengaruh pH terhadap kadar pospat

	No.	1	2	3	4	5
pH awal	BYH	2.03	5.87	7.04	8.65	10.35
	SKM	2.40	5.78	7.11	8.32	9.98
PH akhir	BYH	4.36	6.85	7.42	8.15	8.22
	SKM	4.44	6.75	7.85	8.25	8.09
t °C	BYH	25	25	25	25	25
	SKM	25	25	25	25	25
P ₂ O ₅ - P mg / L	BYH	9.67	13.15	14.46	13.86	35.00
	SKM	7.22	8.42	9.57	11.52	34.57
Penurunan Kapasitas,%	BYH	82.2	75.8	73.4	74.5	35.6
	SKM	86.7	84.5	82.4	78.8	36.4

Keterangan : BYH = Zeolit dari Bayah
SKM = zeolit dari Sukabumi

Tabel 9. Kondisi awal penelitian untuk penetapan kapasitas zeolit terhadap kadar pospat

Parameter	Lokasi Zeolit	
	BYH	SKM
Berat Zeolit (W)	10 g	10 g
Ukuran zeolit	35 mesh	50 mesh
Kecepatan alir (v)	5 ml/menit	5 ml/menit
Temperatur sampel awal	25°C	25°C
pH awal	8.65	8.32
Kadar P ₂ O ₅ - P	58.15 mg/L	58.15 mg/L

4. Kapasitas Zeolit

Tabel 10. Kapasitas zeolit terhadap penurunan kadar pospat

No	Volume ML		t °C		pH		P ₂ O ₅ - P mg/L		Kapasitas Penurunan %	
	BYH	SKM	BYH	SKM	BYH	SKM	BYH	SKM	BYH	SKM
1	50	50	25	25	8.46	8.44	10.35	7.39	82.2	87.3
2	50	50	25	25	8.53	8.49	10.58	8.78	81.8	84.9
3	50	50	25	25	8.66	8.68	11.98	9.42	79.4	83.8
4	50	50	25	25	8.61	8.65	14.83	11.86	74.5	79.6
5	50	50	25	25	8.56	8.68	15.35	20.70	73.6	64.4
6	50	50	25	25	8.48	8.67	17.56	22.39	69.8	61.5
7	50	50	25	25	8.54	8.66	18.89	32.62	67.5	56.1
8	50	50	25	25	8.55	8.62	20.18	31.05	65.3	53.4
9	50	50	25	25	8.57	8.71	21.69	32.91	62.7	56.6
10	50	50	25	25	8.55	8.65	24.13	26.92	58.5	53.7
11	50	50	25	25	8.65	8.52	25.82	28.26	55.6	51.4
12	50	50	25	25	8.57	8.61	26.92	30.53	53.7	47.5
13	50	50	25	25	8.53	8.59	28.26	30.99	51.4	46.7
14	50	50	25	25	8.52	8.58	33.55	32.51	42.3	44.1
15	50	50	25	25	8.59	8.56	34.83	33.38	40.1	42.6

Dari Tabel 3 di atas terlihat bahwa semakin lambat aliran sampel melalui zeolit semakin besar pospat yang tertahan dalam zeolit, pada kecepatan 2 dan 5 mL/menit memberikan hasil efisiensi 9,55 mg/L atau 81,2% dan 11,80 mg/L atau 77,5% untuk zeolit dari Bayah; sedangkan zeolit Sukabumi pada kecepatan alir 2 dan 5 ml/menit memberikan hasil serta efisiensi 6,71 mg/L atau 87,2% dan 10,75 mg/L atau 79, 5%. Hal ini membuktikan bahwa semakin lambat alir akan memberikan kesempatan kepada larutan untuk masuk ke dalam rongga zeolit dan melakukan adsorpsi maupun pertukaran dengan sempurna.

Ukuran butiran zeolit mempengaruhi proses adsorpsi pospat, dimana selama proses adsorpsi diperlukan kontak antara counter ion dengan gugus ionik yang terikat pada zeolit. Semakin kecil atau halus ukuran butiran, semakin besar luas permukaan, yang berarti gugus ionik semakin terbuka, sehingga kapasitas zeolit semakin meningkat. Pada Tabel 6,7 di atas terlihat untuk zeolit bayah ukuran butiran 35 mesh memberikan hasil 10,44 mg/l dengan efisiensi 80,2% sedangkan zeolit dari sukabumi dengan ukuran butiran 50 mesh memberikan hasil 8,18 mg/l, efisiensi 84,5%.

Kapasitas zeolit untuk mengadsorpsi pospat optimum tercapai pada kondisi larutan netral sampai sedikit basa dengan kapasitas adsorpsi 73,4 – 82,2% untuk zeolit bayah dan 78,8 – 86,7% untuk zeolit sukabumi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat keasaman sangat mempengaruhi daya adsorpsi zeolit.

Dari Tabel 4.6.8 di atas zeolit mempunyai kapasitas penurunan kadar pospat dalam air yang efektif antara 81,8 sampai dengan 82,2% pada pengolahan 100 mL untuk zeolit Bayah, sedangkan untuk zeolit Sukabumi antara 83,8 sampai dengan 87,3% pada pengolahan 150 mL. Kapasitas penurunan kadar pospat dengan volume pengolahan lebih dari 150 sampai dengan 650 sebesar 51,4 – 79,4% dan diatas 650 mL kapasitasnya lebih kecil dari 42,3% untuk zeolit Bayah, sedangkan zeolit Sukabumi kapasitas pada pengolahan 200-550 mL sebesar 51,4 sampai 79,6% dan diatas volume pengolahan 600 mL kapasitas zeolit lebih kecil dari 47,5 %. Zeolit yang telah jenuh dengan pospat dapat diregenerasikan menggunakan larutan NaOH 0,5 N yang memberikan hasil cukup efektif dengan kapaistas 91,8–97,6%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian dibuktikan bahwa zeolit mempunyai kemampuan untuk menurunkan kadar pospat dalam air yang cukup tinggi rata-rata 81,8–87,3%
2. Kondisi optimum penelitian :
 - a. Ukuran butir zeolit rata-rata 35 –50 mesh
 - b. Kecepatan alir 5 mL/menit
 - c. pH pada suasana netral sampai sedikit basa.
3. Zeolit yang telah jenuh dapat diregenerasi dengan larutan NaOH.

Saran

1. Untuk melakukan penelitian lanjutan tentang proses dan mekanisme adsorpsi, pertukaran ion oleh zeolit dapat ditetapkan model, struktur zeolit dan rancangan peralatan pengolahan

limbah yang mengandung pencemaran kation maupun anion.

Melakukan penelitian pemanfaatan zeolit untuk pengurangi bahan-bahan organik diantaranya pemurnian minyak kelapa (CPO)

DAFTAR PUSTAKA

1. Anwar K.P, 1985, Prospek pemakaian Zeolit Bayah sebagai penyerap NH^+ dalam air limbah,
2. Laporan Teknik Pengembangan No 69 Bandung, 2-13
3. Barrer R.M, 1978, Zeolit and Clay Minerals as Sorbents and Molekuler Sieves, Acedemic Press, London, 356-370
4. Cotton F.A, 1988, Advanced Inorganic Chemistry, 5th Ed, New York, 223-235
5. Suhala. S dan Arifin M, 1997, Bahan Galian Industri, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral.