

**REDUKSI VOLUME LIMBAH RADIOAKTIF CAIR
MENGUNAKAN ZEOLIT ALAM**

Endro Kismolo, Nurimaniwathy, Vemi Ridantami
Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan
endrokismolo@gmail.com

ABSTRAK

REDUKSI LIMBAH RADIOAKTIF CAIR MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui karakteristik zeolit alam sebagai sorben untuk reduksi volume limbah cair yang mengandung kontaminan Pb. Percobaan sorpsi dilakukan secara batch menggunakan zeolit dari Gedangsari – Gunung Kidul, dengan ukuran butir zeolit (-60+80) mesh, (-80+100) mesh dan (-100+120) mesh yang diaktifkan menggunakan larutan NH_4Cl dan NH_4NO_3 1,0 M. Berat sorben yang ditambahkan divariasi dari 5,0 sampai 40,0 %, dan pasir silika yang ditambahkan divariasi dari 0,5 sampai 2,50 % berat sorben. Kecepatan pengadukan divariasi dari 30 sampai 180 rpm dan waktu pengadukan divariasi dari 10 sampai 120 menit, dan filtrat dari proses penyaringan dianalisis menggunakan perangkat AAS. Dari percobaan diperoleh data bahwa kondisi sorpsi terbaik dicapai pada ukuran butir sorben (-80+100) mesh, berat sorben 25,0 %, kecepatan pengadukan 120 rpm, waktu pengadukan 90 menit, dan waktu pengendapan 120 menit, yaitu memberikan nilai efisiensi sorpsi sebesar 64,162 % untuk zeolit alam, 75,034 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH_4NO_3 dan 77,414 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH_4Cl 1.0 M

Kata kunci : Zeolit alam – sorpsi

ABSTRACT**REDUCTION VOLUME OF RADIOACTIVE WASTES USING NATURAL ZEOLITE.**

The aim of this experience was to know of the characteristics of zeolite as the sorbent for reduction volume of liquid waste with the Pb contaminant contain. The experiment was done by sorption methode a batch performed by using zeolite from Gedangsari – Gunung Kidul with the grain size (-60+80) mesh, (-80+100) mesh dan (-100+120) mesh which was activated by $(\text{NH}_4)\text{Cl}$ and NH_4NO_3 1.0 M. Weight of sorbent was added was variated from 5,0 to 40.0 %, and variation of silika sand to added from 0.5 to 2.5 % of weight sorbent. Stirring speed was varied from 30 to 180 rpm and the stirring time of 10 to 120 minutes, and filtrates from filtering process to analyzed by Absorption Analisis Spectrophotometry utilities. From the experience can be achieved of data that the best sorption to obtained at the condition of zeolite on (-80+100) mesh, sorbent added of 25 %, stirring speed of 120 rpm, time of stirring of 90 minutes, and the settling time of 120 minutes. At this condition to obtained sorption efficiency are 64.162 % for natural zeolite, 7.034 % for zeolite be activated with NH_4NO_3 and 77.414 % for zeolite be activated with NH_4Cl 1.0 M

Key words : Natural zeolite –sorption

PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan untuk mendukung pengumpulan data pada penyempurnaan perancangan unit elektrokoagulasi limbah cair.

Efluen hasil proses elektrokoagulasi biasanya masih memiliki kadar zat padat terlarut, dan kadar kontaminan yang rendah, tetapi belum diperbolehkan dilakukan dispersi ke lingkungan,

dan masih memerlukan pengelolaan lanjut. Salah satu metode pengelolaan lanjut limbah efluen dari proses elektrokoagulasi adalah dengan proses sorpsi. Pemanfaatan mineral lokal seperti halnya zeolit secara langsung dapat digunakan sebagai sorben, atau melalui pengaktifan misalnya dengan larutan NH_4Cl dan atau NH_4NO_3 . Pada percobaan reduksi volume limbah efluen hasil proses elektrokoagulasi ini digunakan mineral lokal zeolit yang diambil dari daerah Gedangsari yang mengandung garam silikat sekitar 51,45 % dalam bentuk kalsium silikat, sehingga diduga cukup baik untuk bahan sorpsi^(1,2).

Zeolit secara ekonomis dapat digunakan sebagai sorben untuk mereduksi logam berbahaya dalam limbah cair. Selain secara menyeluruh prosesnya murah, zeolit yang telah terkontaminasi logam B3 memiliki kemudahan dalam pengelolaan selanjutnya. Kemampuan zeolit sebagai sorben karena di dalam zeolit juga mengandung senyawa alumunium silikat yang memiliki struktur kerangka tiga dimensi yang terbentuk oleh tetrahedral AlO_4^{5-} dan SiO_4^{4-} dengan rongga di dalamnya yang terisi ion-ion logam dan biasanya adalah logam alkali tanah (Na, K, Mg, Ca dan Fe) dan molekul air yang dapat bergerak bebas⁽³⁾.

Sebagai sorben alam, zeolit mengandung senyawa silikat cukup besar, sehingga diperkirakan dapat digunakan sebagai sorben yang efisien, baik secara alamiah maupun setelah dilakukan pengaktifan secara fisika atau dengan cara kimia. Karakteristik sorben alam sebagai sorben pada umumnya terjadi karena adanya pembentukan kerangka struktur molekuler dari penggabungan molekul-molekul tetrahedral yang membentuk celah dan saluran yang teratur sehingga menyebabkan adanya struktur berpori. Celah dan saluran dalam struktur yang terjadi memungkinkan suatu molekul yang melewatinya dapat terperangkap di dalamnya secara molekuler dan atau secara ionik. Sifat ini yang menyebabkan zeolit dapat dimanfaatkan sebagai sorben dalam proses sorpsi, penyaring molekuler dan sebagai penukar ion. Pengaktifan mineral lokal dapat dilakukan secara fisika misalnya dengan cara pemanasan atau dengan cara kimia dengan menambahkan larutan asam atau garam (sulfat, khlorida, nitrat). Langkah ini bertujuan untuk membersihkan permukaan pori zeolit, membuang senyawa pengotor dan pada akhirnya terjadi reposisi letak atom yang dapat dipertukarkan^(4,5).

Pada pengaktifan secara kimia menggunakan larutan garam ammonium NH_4^+ untuk memperoleh (zeolit- NH_4^+) sebagai penukar kation. Sedangkan ion Pb^{2+} yang ada dalam limbah akan terserap oleh pori permukaan zeolit dan diharapkan terjadi substitusi dengan kation NH_4^+

yang ada pada permukaan sorben zeolit, seperti dalam reaksi di bawah ini :

1. Reaksi pengaktifan zeolit dengan garam ammonium NH_4^+



2. Reaksi pertukaran ion dalam proses penjerapan



Jika M suatu kerangka anionik dari zeolit, maka pengikatan ionik dalam pertukaran dapat ditulis sebagai berikut :



Secara teoritis, dengan memperbanyak ion NH_4^+ dalam struktur zeolit, dapat diperoleh kemudahan terjadinya pertukaran ion logam (Pb^{2+}) sebagai kontaminan dalam limbah cair (6,7).

Oleh karena sorben alam di dalam sistem air juga mengalami pelarutan fisik, maka ukuran butir diduga berpengaruh terhadap kondisi proses sorpsi. Kondisi fisik sorben pasca sorpsi dapat dilihat dari kadar zat padat dalam efluen pasca penganapan⁽⁸⁾. Pada penelitian ini ingin diperoleh karakteristik sorpsi zeolit alam untuk mereduksi kadar logam Pb dalam limbah cair. Selain ukuran butir, pada aplikasi sorpsi secara *batch*, beberapa variabel penting akan diteliti diantaranya beban sorben, kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan.

Pada penelitian ini digunakan limbah cair yang mengandung logam Pb yang diambil dari efluen proses elektrokoagulasi. Pada proses elektrokoagulasi, efluen yang dihasilkan biasanya masih mengandung logam Pb antara 10 sampai 40 ppm dan kadar zat padat terlarut di atas 50 g/L. Kondisi limbah yang demikian belum boleh didispersi ke lingkungan, sehingga yang masih perlu direduksi yang dalam hal ini dilakukan dengan metode sorpsi secara *batch*.

Pada proses sorpsi secara *batch* atau proses kontinu, zeolit akan mengalami pemenuhan air pada kerangka aktif, sehingga pada proses *batch* biasanya akan terjadi penggumpalan sorben pada pengadukan kecepatan rendah, dan ini dapat mengakibatkan penyumbatan pada proses sorpsi secara kontinu. Untuk mengurangi terjadinya penggumpalan pada proses pengadukan, maka kedalam campuran dicoba ditambahkan pasir silika. Pasir silika dalam sistem air secara mekanis lebih stabil dibandingkan zeolit, sehingga akan mampu menjadi fraksi antara bagi kristal zeolit (8). Melalui cara ini akan diperoleh fraksi campuran zeolit - pasir silika, dimana kemungkinan terjadinya penggumpalan

dapat diminimalisir, dan diduga akan diperoleh kondisi proses sorpsi yang optimum.

HIPOTESIS

Dengan memvariasi prosentase penambahan zeolit, kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan, diharapkan dapat diperoleh kondisi optimum proses reduksi limbah melalui proses sorpsi dengan kualifikasi nilai efisiensi sorpsi logam (Pb^{2+}) yang optimum terhadap zeolit alam maupun zeolit hasil pengaktifan secara kimia menggunakan ammonium chlorida dan ammonium nitrat. Selanjutnya dapat diperoleh efluen yang memenuhi ketentuan teknis untuk pengelolaan lanjut.

TATA KERJA

1. Bahan yang digunakan

Limbah cair efluen hasil proses elektrokoagulasi dengan kadar Pb 14,450 ppm, zeolit yang diambil dari daerah Gedangsari – Gunung Kidul digunakan sebagai sorben, pasir silika produksi Brataco sebagai matrik tambahan, larutan NH_4Cl dan NH_4NO_3 1,0 M digunakan sebagai larutan aktif, ethanol 10 % dan aquades digunakan untuk pengencer dan pencuci hasil pengaktifan zeolit.

2. Peralatan yang digunakan

Lumpang besi dan alat penumbuk digunakan untuk menghancurkan zeolit, ayakan Tyler digunakan untuk mengayak serbuk zeolit pada berbagai ukuran butir. Perangkat Jar Tes dan piranti gelas digunakan untuk proses pengaktifan zeolit dan pengadukan dalam proses sorpsi, sedangkan analisis efluen hasil sorpsi dilakukan dengan menggunakan perangkat AAS.

3. Cara kerja

a. Preparasi zeolit

Zeolit kering daerah Gedangsari – Gunung Kidul ditumbuk dalam lumpang besi sampai hancur menjadi serbuk halus. Serbuk yang diperoleh diayak hingga diperoleh serbuk zeolit dengan ukuran butir (-60+80) mesh, (-80+100) mesh dan (-100+120) mesh selanjutnya disimpan dalam wadah yang rapat.

b. Pengaktifan zeolit

Sebanyak 100 gram serbuk zeolit ukuran butir (-80+100) mesh dimasukkan ke dalam gelas beker 1000 ml yang berisi 500 ml larutan NH_4Cl 1,0 M. Campuran diaduk menggunakan perangkat Jar Test pada kecepatan pengadukan 50 rpm selama 120

menit. Setelah itu dilakukan pengenapan selama 120 menit, disaring menggunakan kertas saring teknis, endapan dicuci menggunakan aquades dan ethanol 10,0 %. Dengan cara yang sama dilakukan terhadap zeolit diaktifkan dengan NH_4NO_3 1,0 M.

c. Proses sorpsi

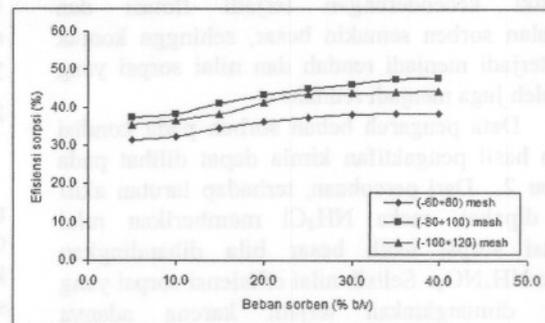
1. Kedalam tiga gelas beker 100 ml yang berisi limbah cair Pb sebanyak 50 ml ditambahkan serbuk zeolit yang diambil dari daerah Gedangsari – Gunung Kidul dengan ukuran butir serbuk (-60+80) mesh, (-80+100) mesh dan (-100+120) mesh sebanyak 2,50 % b/v, campuran diaduk menggunakan Jar Tes pada kecepatan pengadukan 30 rpm selama 10 menit. Hasil pengadukan diapakan selama 120 menit, disaring dan kadar Pb dalam beningan filtrat dianalisis menggunakan perangkat AAS.
2. Dengan cara yang sama dilakukan variasi penambahan zeolit (beban zeolit) sebanyak 5,0 sampai 40,0%, kecepatan pengadukan 30 sampai 150 rpm, dan waktu pengadukan dari 10 sampai 120 menit.
3. Dengan cara yang sama dilakukan uji penambahan pasir silika dan penambahan pasir silika divariasi dari 0,5 sampai 2,50 % berat zeolit.

Dengan cara yang sama dilakukan terhadap sorben zeolit hasil pengaktifan kimia menggunakan larutan NH_4Cl dan NH_4NO_3 1,0 M dan setiap percobaan dilakukan tiga kali pengulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh beban sorben terhadap efisiensi sorpsi

Pengaruh berat zeolit (beban sorben) terhadap efisiensi sorpsi untuk berbagai ukuran butir sorben dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan pengaruh beban sorben terhadap nilai efisiensi sorpsi pada kondisi kecepatan pengadukan 30

rpm, waktu pengadukan 10 menit, waktu penguapan selama 120 menit, untuk berbagai ukuran butir sorben.

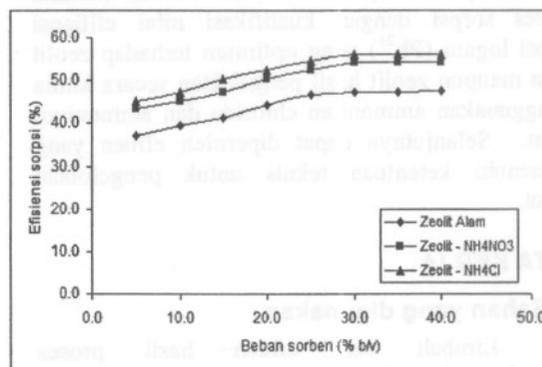
Dari Gambar 1 dapat diperoleh data bahwa kenaikan beban sorben dalam limbah memberikan kecenderungan naiknya nilai efisiensi sorpsi yang diperoleh. Keadaan ini berlaku untuk semua ukuran butir sorben yang ditambahkan. Hal ini terjadi karena semakin banyak sorben yang ditambahkan akan mengakibatkan bertambahnya jumlah rongga dan pori sorben sehingga penetrasi logam Pb dalam limbah ke dalam rongga dan pori sorben juga bertambah karena adanya proses difusi yang meningkat. Kondisi ini memungkinkan diperolehnya kenaikan nilai efisiensi sorpsi secara signifikan sesuai dengan beban sorben yang ditambahkan. Secara teknis kondisi ini cukup baik, tetapi pada aplikasi sorpsi secara *batch*, maka beban sorben dibatasi dengan kemudahan dalam proses pengadukan. Dari percobaan, beban sorben yang direkomendasikan maksimum sebesar 25 %. Diatas harga tersebut terjadi kesulitan dalam pengadukan dan butuh waktu penguapan yang lebih lama, serena rentan flotasi yang terjadi terlalu pendek.

Terhadap ukuran butir sorben, dari percobaan diperoleh data bahwa, ukuran butir juga berpengaruh terhadap nilai efisiensi sorpsi yang diperoleh. Kecenderungan yang ada menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran butir sorben akan memberikan nilai efisiensi sorpsi yang diperoleh semakin besar. Ini terjadi karena pada berat sorben yang sama, maka semakin kecil ukuran butir sorben menyebabkan jumlah pori yang diberikan semakin banyak, dan kontak yang terjadi semakin besar, sehingga efisiensi sorpsi yang diperoleh akan menjadi semakin besar.

Dari percobaan diperoleh data bahwa dari ketiga ukuran butir yang dicoba, sorben dengan ukuran (-80+100) mesh memberikan nilai sorpsi terbesar dibanding sorben yang lain. Hal ini terjadi karena pada proses *batch*, maka sorben dengan ukuran butir lebih kecil pada proses pengadukan memiliki kecenderungan terjadi flotasi dan gumpalan sorben semakin besar, sehingga kontak yang terjadi menjadi rendah dan nilai sorpsi yang diperoleh juga menjadi rendah.

Data pengaruh beban sorben pada kondisi sorben hasil pengaktifan kimia dapat dilihat pada Gambar 2. Dari percobaan, terhadap larutan aktif yang dipakai, maka NH_4Cl memberikan nilai efisiensi sorpsi lebih besar bila dibandingkan dengan NH_4NO_3 . Selisih nilai efisiensi sorpsi yang terjadi dimungkinkan terjadi karena adanya kompetisi pada proses pertukaran ion logam yang ada di dalam limbah dan karena adanya gaya elektro-ionik pada sistem kristal dengan adanya ion

khlorida dan ion nitrat bebas. Dari percobaan diperoleh data bahwa pengaktifan kimia menggunakan larutan NH_4Cl dan NH_4NO_3 1,0 M memberikan peningkatan kemampuan sorpsi zeolit alam. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan harga efisiensi sorpsi yang diperoleh setelah sorben tersebut mengalami pengaktifan kimia baik menggunakan NH_4Cl maupun NH_4NO_3 .



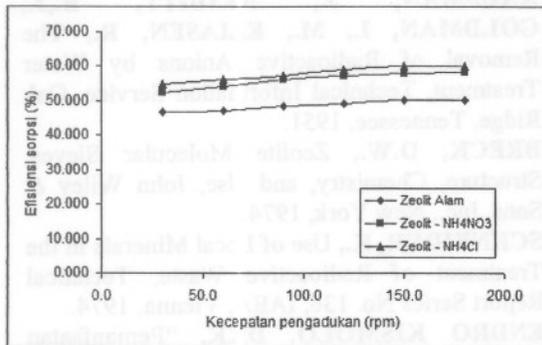
Gambar 2. Grafik hubungan pengaruh beban sorben terhadap nilai efisiensi sorpsi pada kondisi kecepatan pengadukan 30 rpm, waktu pengadukan 10 menit, waktu penguapan selama 120 menit, menggunakan zeolit alam, zeolit setelah pengaktifan menggunakan NH_4Cl dan NH_4NO_3 1,0 M.

Selain itu penambahan garam khlorida dan atau garam nitrat diduga mampu membersihkan kotoran dalam pori dan saluran intermiler dari zeolit, sehingga sifat anionik zeolit akan naik dan sifat serapnya akan meningkat. Berdasarkan data percobaan, untuk melihat karakteristik proses sorpsi yang secara teknis dapat dilaksanakan untuk proses *batch*, maka percobaan selanjutnya dilakukan pada penambahan sorben sebanyak 25,0 % karena di atas beban tersebut terjadi penggumpalan sorben khususnya pada pengadukan lambat. Pada beban sorben sebesar 25,0 % kondisi terbaik dicapai dengan memberikan nilai sorpsi sebesar 46,735 % untuk zeolit alam, 52,372 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH_4Cl dan 54,717 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH_4NO_3 .

2. Penentuan pengaruh kecepatan pengadukan

Data pengaruh kecepatan pengadukan terhadap karakteristik sorpsi dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3, diperoleh data bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh pada proses sorpsi secara *batch*, baik terhadap zeolit alam maupun terhadap zeolit hasil pengaktifan dengan NH_4Cl atau NH_4NO_3 1,0 M. Dari percobaan diperoleh data bahwa kecepatan pengadukan yang

semakin tinggi memberikan nilai efisiensi sorpsi yang semakin besar, sehingga kadar Pb dalam beningan semakin rendah. Hal ini diduga karena semakin besar kecepatan pengadukan akan menyebabkan semakin bertambahnya butiran sorben yang terdistribusi secara merata ke dalam semua bagian larutan limbah, sehingga menyebabkan semakin besar terjadinya interaksi butiran sorben dengan ion-ion logam dalam limbah.



Gambar 3. Grafik hubungan pengaruh kecepatan pengadukan terhadap nilai efisiensi sorpsi, pada kondisi berat sorben 25 % b/v, waktu pengadukan 10 menit dan waktu penguapan 120 menit dan menggunakan zeolit alam, zeolit setelah pengaktifan menggunakan NH₄Cl dan NH₄NO₃ 1,0 M.

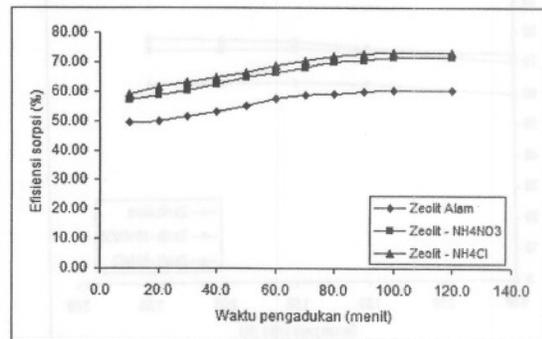
Dengan demikian akan memperbanyak kemungkinan terjadinya pertukaran ion logam (Pb²⁺) menggantikan NH₄⁺ dalam sorben dengan cara difusi molekuler.

Dari percobaan diperoleh data bahwa kondisi terbaik dicapai pada kecepatan pengadukan sebesar 120 rpm, pada kondisi tersebut diperoleh memberikan nilai sorpsi sebesar 49,261 % untuk zeolit alam, 57,271 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄Cl dan 59,162 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄NO₃. Pada kecepatan pengadukan di atas 120 rpm, perubahan nilai sorpsi yang diperoleh tidak signifikan.

3. Penentuan pengaruh waktu pengadukan

Data penentuan pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai efisiensi sorpsi dapat dilihat pada Gambar 4. Dari percobaan diperoleh data bahwa waktu pengadukan mempunyai pengaruh yang signifikan pada proses sorpsi limbah Pb menggunakan sorben zeolit. Semakin lama waktu pengadukan yang dilakukan, memberikan efisiensi sorpsi yang semakin besar. Hal ini terjadi karena waktu pengadukan berpengaruh pada kesempatan terjadinya interaksi antara butiran sorben zeolit dengan ion logam sebagai kontaminan dalam limbah. Selain itu waktu pengadukan juga akan memperbesar waktu kontak antara sorben dan

kontaminan, dan selanjutnya akan memperbanyak kemungkinan terjadinya proses pertukaran ion NH₄⁺ dengan Pb²⁺ yang ada dalam limbah, sehingga efisiensi penjerapan yang diperoleh semakin besar. Dari Gambar 4 diperoleh data bahwa kondisi proses sorpsi limbah Pb menggunakan sorben zeolit dari Gedangsari Gunung Kidul terbaik dicapai pada kondisi sorben dengan ukuran butir (-80+100) mesh, sorben 25,0 % b/v, kecepatan pengadukan 120 rpm, waktu pengadukan 90 menit dan penguapan selama 120 menit.



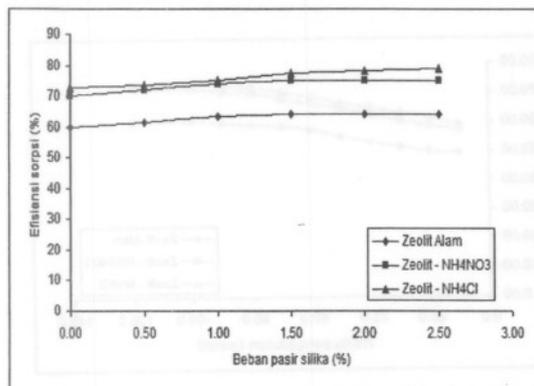
Gambar 4. Grafik hubungan pengaruh waktu pengadukan terhadap efisiensi sorpsi, pada kondisi berat sorben 25 % b/v, kecepatan pengadukan 120 rpm, waktu penguapan 120 menit dan menggunakan zeolit alam, zeolit setelah pengaktifan menggunakan NH₄Cl dan NH₄NO₃ 1,0 M.

Pada kondisi tersebut diperoleh memberikan nilai sorpsi sebesar 60,042 % untuk zeolit alam, 70,183 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄Cl dan 72,889 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄NO₃.

4. Penentuan pengaruh penambahan pasir silika

Penentuan pengaruh penambahan pasir silika terhadap proses sorpsi dapat dilihat pada Gambar 5. Dari Gambar 5 dapat diperoleh data bahwa penambahan pasir silika cukup mempunyai pengaruh yang signifikan pada proses penjerapan limbah Pb menggunakan sorben zeolit. Semakin banyak pasir silika yang ditambahkan, memberikan nilai efisiensi sorpsi dalam limbah semakin besar. Pada percobaan ini diambil kondisi beban zeolit 25,0 %, kecepatan pengadukan 120 rpm, waktu pengadukan 90 menit dan waktu penguapan selama 120 menit. Dari percobaan, penambahan pasir silika secara umum mampu meningkatkan perolehan nilai efisiensi sorpsi. Peningkatan ini dimungkinkan karena pada proses sorpsi secara catu, penambahan pasir silika dapat meminimalisir terjadinya gumpalan pada proses pengadukan.

Akibat dari kondisi itu butiran partikel zeolit lebih dapat efektif sebagai sorben, karena jarak antar partikel zeolit menjadi cukup lebar sehingga proses sorpsi dapat menjadi maksimum. Rendahnya tingkat terbentuknya gumpalan sorben dan terbentuknya butiran halus zeolit terflotasi, menjadikan distribusi sorben dalam proses sorpsi semakin baik, sehingga proses sorpsi (penjerapan) yang terjadi semakin efektif. Dengan demikian nilai efisiensi sorpsi (penjerapan) yang diperoleh menjadi lebih besar.



Gambar 5. Grafik hubungan pengaruh penambahan (beban) pasir silika terhadap efisiensi sorpsi, pada kondisi berat sorben zeolit 25 % b/v, kecepatan pengadukan 120 rpm dan waktu, waktu pengadukan 90 menit, dan penguapan 120 menit, dan menggunakan zeolit alam, zeolit setelah pengaktifan menggunakan NH₄Cl dan NH₄NO₃ 1,0 M.

Penambahan pasir silika sebanyak 1,50 % berat zeolit cukup baik diaplikasikan pada proses sorpsi menggunakan zeolit dengan cara catu, yaitu memberikan nilai efisiensi sorpsi sebesar 64,162 % untuk zeolit alam, 75,034 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄Cl dan 77,414 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄NO₃.

KESIMPULAN

Dari percobaan diperoleh kesimpulan bahwa kondisi terbaik proses sorpsi limbah Pb menggunakan sorben zeolit dari Gedangsari Gunung Kidul ini dicapai pada kondisi ukuran butir sorben (-80+100) mesh, beban sorben 25,0 %, kecepatan pengadukan 120 rpm, waktu pengadukan 90 menit, penambahan pasir silika 1,50 % berat sorben dan waktu penguapan 120 menit. Pada kondisi tersebut diperoleh nilai efisiensi sorpsi sebesar 64,162 % untuk zeolit alam, 75,034 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄Cl dan 77,414 % untuk zeolit yang diaktifkan dengan NH₄NO₃.

PUSTAKA

1. TECHNICAL REPORT SERIES NO. 89, Chemical Treatment of Radioactive Waste, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1978.
2. OTHMER, KIRK, "Molekular Sieve", Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Volume 15, John Wiley and Sons, (1981)
3. KAUFMAN, J., NESBITT, B., J., GOLDMAN, I., M., ELIASSEN, R., The Removal of Radioactive Anions by Water Treatment, Technical Information Service, Oak Ridge, Tennessee, 1951.
4. BRECK, D.W., Zeolite Molecular Sieves, Structure, Chemistry, and Use, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1974.
5. SCHNEIDER, K., Use of Local Minerals in the Treatment of Radioactive Waste, Technical Report Series No. 136, IAEA, Vienna, 1974.
6. ENDRO KISMOLO, DKK, "Pemanfaatan Zeolit Nanggulan Untuk Mengolah Limbah Chrom", Seminar Nasional (II) Perkembangan Teknologi Keramik, Bandung, (2003).
7. HANAN S, DKK, 2010, Application of zeolite prepared from egyptia kaolin for removal of heavy metals: II. Isoterm models, Journal of Hazaourous Materials 182 ; 842-841.
8. VESNA RAKIC, DKK, 2012, The Adsorption of Salicylic acid, acetylsalicylic and atenolol from aqueous solutions onto natural zeolites and clays; cliptilolite; bentonite and kaolin", Journal of Hazaourous Materials, Microporous and Mesoporous XXX (2012) XXX-XXX.

TANYA JAWAB

Endro Kismolo

- Apakah selain zeolit ari Gunung Kidul sudah dicoba, sehingga dapat mengambil kesimpulan bahwa zeolit dari Gunung Kidul yang terbaik.

Wijiyono

- ✧ Pada penelitian ini belum mengambil kesimpulan bahwa zeolit dari Gedang sari-Gunung Kidul adalah yang terbaik, tetapi zeolit dari tersebut memiliki kadar Ca-Silikat tahap tinggi sehingga cukup baik untuk sorben alam.
- ✧ Selain zeolit dari Gedang Sari-Gunung Kidul pernah dilakukan tapi pada topik yang lain.

L. Kwin Pujiastuti

- Reduksi volume limbah cair jenis apa dengan aktivitas apa (rendah, sedang, tinggi) yang dapat dilakukan menggunakan zeolit alam? Apakah metode ini dapat diterapkan di instalasi-instalasi yang menimbulkan limbah radioaktif cair?

Endro Kismolo

- ✧ *Zeolit alam sangat cocok untuk reduksi volume limbah cair aktivitas rendah.*
- ✧ *Metode sorpsi dapat diterapkan pada instalasi yang menimbulkan limbah cair dengan terlebih dulu dilakukan karakterisasi limbah cair yang akan dilakukan reduksi volume.*

Atok Suhartanto

- Apakah pernah dibandingkan antara zeolit dari Gunung Kidul dengan Jawa Barat?
- Apakah selain dari kemampuan adsorpsi limbah, pernah dilakukan perbandingan morfologi Ze dengan X ray defraksi mislanya ataupun SEM?

Endro Kismolo

- ✧ *Sudah pernah untuk topik yang lain, tetapi untuk proses yang sama belum pernah dibandingkan.*
- ✧ *Untuk penelitian ini yang ditinjau hanya kemampuan sorpsinya saja, untuk kajian morfologi disampaikan dalam topik yang lain.*

Subiharto

- Apakah reduksi limbah cair dengan menggunakan zeolit bisa diterapkan di tempat lain (PRSG)? Yang mengandung nuklida Co^{60} dan Zn bagaimana caranya?

Endro Kismolo

- ✧ *Bisa setelah melalui kajian teknis sesuai dengan karakteristik dari limbah yang ada.*
- ✧ *Untuk volume yang besar teknis sorpsinya dilaksanakan dengan teknik kolom bertekanan.*

