

REDUKSI MERKURI DALAM AIR LIMBAH PENAMBANGAN EMAS DENGAN ZEOLIT DAN SECARA PENGENAPAN

Herry Poernomo, Rahardjo dan Tri Suyatno

P3TM – BATAN

ABSTRAK

REDUKSI MERKURI DALAM AIR LIMBAH PENAMBANGAN EMAS DENGAN ZEOLIT DAN SECARA PENGENAPAN. Proses reduksi Hg dalam air limbah penambangan emas tanpa izin di Kulon Progo adalah secara pengendapan. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan proses reduksi Hg dalam air limbah dengan menggunakan zeolit dan secara pengendapan. Percobaan dilakukan dengan aktivasi zeolit alam secara fisis dan kimia. Zeolit aktif dengan kapasitas tukar kation (KTK) terbesar digunakan untuk reduksi Hg dalam 100 ml air limbah secara catu dengan berat zeolit 1 – 5 gram dan waktu pengendapan 1 – 5 jam. Reduksi Hg dalam 100 ml air limbah secara pengendapan dilakukan dalam beker gelas dengan waktu pengendapan 1 – 6 jam, dan 1 – 4 hari. Hasil percobaan menunjukkan bahwa reduksi Hg dengan menggunakan 3 gram zeolit aktif dari hasil pemanasan 250 °C dengan waktu pengendapan 5 jam dan dengan reduksi Hg secara pengendapan selama 4 jam memberikan efisiensi reduksi dengan nilai yang sama yaitu 80%.

ABSTRACT

REDUCTION OF MERCURY IN THE WASTE WATER OF THE GOLD MINING USING ZEOLITH AND SETTLING METHOD. The reduction process of Hg in the waste water of the illegal gold mining in Kulon Progo are settling method. The objective of this experiment is compare the reduction process of Hg in the waste water by using zeolith and settling method. The experiment were carried out by the activation of natural zeolith by physically and chemically methods. Zeolith activied with highest cation exchange capacity (CEC) used for the reduction of Hg in the 100 ml of waste water by bathly method with weight of zeolith from 1 to 5 grams and presipitation time from 1 to 5 hours. Reduction of Hg in the 100 ml of waste water by settling method was done in the glass beaker by settling time from 1 to 6 hours, and from 1 to 4 days. The experiment result show that reduction of Hg by using 3 grams zeolith activied from baking of 250 °C and presipitation time 5 hours and reduction of Hg by settling method as long as 4 hours give the reduction efficiency by same value are 80%.

Key words : adsorption, zeolith, mercury, settling.

PENDAHULUAN

Akibat pengolahan bijih emas secara langsung yaitu proses pengecilan ukuran partikel batuan yang mengandung emas dan pengikatan emas pada partikel oleh merkuri yang dilakukan dalam satu tromol secara simultan, maka butir-butir merkuri yang rusak tidak efektif lagi mengikat emas, sehingga untuk mencapai konversi reaksi amalgamasi sampai 100% kemungkinan yang terjadi adalah kecil sekali karena kondisi proses yang terjadi tidak optimal. Dengan demikian akan selalu terjadi sisa Hg yang terdapat dalam limbah cair dalam bentuk butir-butir kecil molekul Hg yang rusak maupun dalam bentuk ion Hg^{2+} yang larut dalam air limbah, maka limbah cair yang dibuang ke badan sungai akan selalu mengandung merkuri.

Merkuri termasuk klasifikasi bahan berbahaya dan beracun. Pengaruh utama yang ditimbulkan oleh merkuri dalam tubuh manusia adalah menghalangi kerja enzim dan merusak selaput dinding (membran) sel. Keadaan itu karena kemampuan merkuri dalam membentuk ikatan kuat dengan gugus yang mengandung sulfur yang terdapat dalam enzim dan dinding sel. Senyawa merkuri yang paling toksis terhadap manusia adalah metil merkuri.^(1,2)

Kandungan merkuri yang terdapat dalam beningan yang dibuang ke badan sungai perlu diturunkan serendah mungkin agar beban polutan merkuri yang kemungkinan dapat terakumulasi di sedimen sungai dapat ditekan serendah mungkin untuk mencegah atau mengurangi terjadinya perubahan atau perombakan

persenyawaan merkuri menjadi metil merkuri yang sangat toksis yang disebabkan oleh daur biologis merkuri di sekitar perairan sungai.

Zeolit adalah kristal aluminosilika yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi yang terbentuk oleh tetrahedral AlO_4^{5-} dan SiO_4^{4-} dengan rongga di dalamnya terisi ion-ion logam biasanya logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Kerangka struktur zeolit pada umumnya terbuka dan memiliki saluran serta rongga-rongga dimana kation-kation dan molekul-molekul air dapat ditempatkan. Kation-kation tersebut mempunyai mobilitas yang tinggi, sehingga dapat memudahkan proses pertukaran ion. Demikian juga dengan molekul-molekul air yang mudah untuk dilepas dan diikat kembali di dalam kerangka strukturnya. Karakter zeolit lainnya adalah dari pembentukan kerangka struktur molekular dari penggabungan molekul-molekul tetrahedra membentuk celah-celah dan saluran yang teratur sehingga menyebabkan adanya struktur berpori. Celah-celah dalam struktur tersebut dapat mengontrol dan memilih ukuran suatu molekul yang mungkin dapat melewati atau terperangkap dalam struktur. Hal ini menyebabkan zeolit bersifat sebagai penukar ion, penjerap, penyarang molekul.^(3,4)

Zeolit yang memiliki muatan negatif pada atom Al menyebabkan zeolit mempunyai sifat penukar kation lebih dominan dibandingkan dengan mineral lain misalnya bentonit. Untuk menetralkan muatan negatif kerangka zeolit, zeolit mengikat kation-kation alkali dan alkali tanah. Ion logam alkali dan alkali tanah dalam zeolit tidak terikat pada posisi yang tetap (posisi bukan kerangka), akan tetapi dapat bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit dan dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain.⁽⁵⁾

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan perlakuan zeolit Gunungkidul dengan aktivasi secara kimia menggunakan larutan HNO_3 dengan variasi pH dan aktivasi secara fisis dengan pemanasan zeolit pada variasi suhu 200 s.d. 400 °C. Hasil perlakuan zeolit secara aktivasi dikarakterisasi dengan menentukan kapasitas pertukaran kation (KTK). Zeolit hasil aktivasi dengan KTK terbaik digunakan untuk reduksi kadar Hg dalam air limbah dari tambang emas. Percobaan tersebut dilakukan secara catu pada variasi : waktu pengendapan zeolit dalam larutan, berat zeolit.

Sebagai pembanding terhadap proses adsorpsi, maka reduksi Hg dalam air limbah dengan proses lain dilakukan secara proses

settling sebagai simulasi para penambang emas yang menangani air limbah dengan mengalirkan air limbah ke dalam satu bak atau dua bak secara seri sebelum dialirkan ke sungai. Proses *settling* adalah proses mengendapkan partikel padat yang berada dalam larutan selama waktu tertentu sehingga dapat diperoleh kualitas larutan sesuai dengan yang diinginkan.

Teori :

Kecepatan pengendapan padatan dalam larutan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :^(6,7)

$$V_m = 2 \sqrt{\frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot g \cdot D_p}{3 \cdot f_D \cdot \rho_l}} \quad (1)$$

dengan V_m = kecepatan pengendapan padatan (cm/detik), ρ_s = densitas partikel padat (g/cm^3), ρ_l = densitas larutan (g/cm^3), g = percepatan gravitasi (cm/det^2), D_p = diameter partikel (mm), f_D = *friction factor* atau *drag coefficient*. Nilai f_D merupakan fungsi sifat aliran yang ditunjukkan oleh nilai bilangan Reynold N_{Re} . Bilangan Reynold ditentukan dari persamaan sebagai berikut :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D_p}{\mu} \quad (2)$$

dengan V = kecepatan aliran (cm/detik), μ = viskositas larutan (cP).

Dinamakan suspensi apabila diameter partikel padatan adalah 10^{-3} s.d. 10 mm. Suspensi dalam larutan umumnya disebabkan kandungan lumpur (*silt*) dengan ukuran partikel sekitar 0,01 mm dan densitas partikel padat > 1. Koloid atau molekul adalah partikel padat berukuran 10^{-3} μm s.d. 10^{-4} mm yang berada dalam larutan. Waktu yang diperlukan padatan bentuk bola dengan diameter 0,01 mm dan 10^{-4} mm dengan berat jenis 2,65 untuk *settling* 1 ft masing-masing membutuhkan waktu 33 menit dan 230 hari.

TATA KERJA

Bahan Penelitian : Air limbah dari pertambangan emas rakyat Kulon Progo, zeolit dari Gunung Kidul, HNO_3 , akuades.

Alat Penelitian : ayakan standar Tyler, peralatan pengaduk larutan, peralatan gelas, oven, AAS.

Cara Kerja

Aktivasi zeolit secara fisis (pemanasan)

Zeolit lolos saringan 200 mesh sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam gelas piala atau cawan porselin, dipanaskan dalam oven pada suhu 200 °C selama 3 jam, didiamkan dalam oven sampai suhu kamar, ditimbang, kemudian ditampung dalam wadah dan ditutup rapat. Dilakukan sama seperti di atas pada suhu 250, 300, 350, 400 °C masing-masing selama 3 jam.

Aktivasi zeolit secara kimia (menggunakan HNO₃)

Dimasukkan larutan HNO₃ dengan pH 3 sebanyak 500 ml ke dalam beker gelas volume 1 liter yang telah berisi zeolit lolos saringan 200 mesh sebanyak 100 gram. Adonan dalam beker gelas diaduk cepat selama 10 menit menggunakan pengaduk gelas tanpa terjadi *vortex* (cekungan pada cairan karena putaran cepat), kemudian diaduk lambat selama 1 jam. Adonan disaring dengan kertas saring, padatan dalam kertas saring dipindahkan ke dalam beker gelas kosong 1 liter. Padatan dalam beker gelas dicuci dengan akuades yaitu dengan cara ditambahkan akuades 500 ml, diaduk cepat tanpa terjadi *vortex*, disaring dengan kertas saring, diukur pH filtrat menggunakan kertas pH. Pencucian terhadap padatan diulang dengan cara yang sama sampai pH filtrat = 7. Padatan dipindahkan ke dalam beker gelas 1 liter untuk dicuci dengan etanol 80% sebanyak 500 ml dengan cara diaduk tanpa terjadi *vortex*, disaring dengan kertas saring, padatan dipindahkan ke dalam gelas piala atau cawan porselin, dikeringkan menggunakan lampu pemanas dengan suhu pada padatan 110 °C sampai diperoleh berat padatan yang tetap. Padatan zeolit hasil aktivasi digerus, diayak dengan ayakan 200 mesh, hasil ayakan ditampung dalam wadah dan ditutup rapat. Aktivasi terhadap 100 g zeolit 200 mesh dilakukan sama seperti di atas menggunakan larutan HNO₃ dengan pH 4, 5, 6, 7 masing-masing sebanyak 500 ml.

Uji kapasitas tukar kation (KTK) zeolit

Kapasitas tukar kation adalah banyaknya kation yang dapat ditukarkan dalam satuan berat ekuivalen tiap satuan berat mineral dari bahan galian alam. Penentuan terhadap zeolit alam yang telah diaktivasi maupun yang belum diaktivasi dilakukan di Puslitbang Teknologi Mineral Bandung. Ditimbang zeolit dengan ukuran butir tertentu sebanyak kira-kira 0,5 gram, kemudian langsung dimasukkan ke dalam

kolom penukar ion dan ditambahkan larutan ammonium asetat (CH₃COONH₄) 1 N sehingga semua zeolit terbasahi, lalu dilakukan pemvakuman untuk membuang udara yang ada dalam pori-pori zeolit. Dialiri sampel zeolit dengan larutan ammonium asetat (CH₃COONH₄) 1 N sebanyak 60 ml selama 2 jam, larutan ethanol 80 % sebanyak 40 ml selama 1 jam dan larutan yang keluar ditampung dalam botol penampung, hasil larutan yang tertampung dibuang, serta botol penampung dibersihkan untuk digunakan lagi, dialiri lagi sampel zeolit tersebut dengan larutan Kalium Chlorida (KCl) 10 % sebanyak 60 ml selama 2 jam. Larutan tersebut ditampung dalam botol penampung, ditambahkan 30 ml Natrium Hidroksida (NaOH) 10 % dan dipindahkan ke dalam labu bulat leher dua untuk didestilasi. Dimasukkan uap hasil destilasi ke dalam erlenmeyer yang mengandung 10 ml Asam Chlorida (HCl) 0,1 N dan 50 ml air destilasi dan dibiarkan sampai volumenya menjadi 150 ml, kemudian larutan dalam erlenmeyer dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N.

Perhitungan

Perhitungan nilai KTK sampel zeolit menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$KTK = \frac{(10 - V) \times f \text{ NaOH} \times 100}{W} \text{ me}$$

$$KTK = \text{me}/100 \text{ gram}$$

dalam hal ini : f = faktor larutan NaOH (Normalitas), V = volume larutan NaOH yang digunakan (ml), W = berat sampel zeolit (gram).

Optimasi pengendapan zeolit dalam larutan

Ditambahkan 5 gram zeolit hasil aktivasi pemanasan 250 °C masing-masing ke dalam 5 buah beker gelas 100 ml yang telah terisi akuades 100 ml, diaduk selama 30 menit pada kecepatan pengadukan skala 1,5 (dikonversi rpm dengan alat *stroboscope*). Masing-masing larutan dalam beker gelas diaplikasikan berturut-turut selama 1, 2, 3, 4, dan 5 jam. Setelah mencapai waktu enap, masing-masing larutan dicuplik dengan pipet ukur sebanyak 25 ml, dipindahkan ke dalam gelas piala yang telah diketahui beratnya, ditimbang gelas piala berisi larutan, dipanaskan dalam lampu pemanas sampai kering, gelas piala yang berisi padatan kering ditimbang, dihitung kadar zat padat dalam larutan dengan persamaan :

$$\text{Kandungan zat padat} = \frac{\text{berat padatan kering}}{\text{volume larutan}}, \text{ g/l}$$

Proses pengendapan zeolit dalam larutan yang dipilih adalah beningan yang mempunyai kadar zat padat paling minimal.

Reduksi kandungan Hg secara proses pengendapan (settling)

Disiapkan 10 buah beker gelas dengan volume 100 ml yang telah dibersihkan. Air limbah Hg dari pertambangan emas rakyat Kulon Progo yang mengandung lumpur diaduk rata, kemudian dituang ke dalam masing-masing 10 buah beker gelas sampai mencapai volume 100 ml. Larutan dalam beker gelas masing-masing ditutup rapat, ditanamkan selama 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 jam; 1, 2, 3, dan 4 hari. Pada saat tepat mencapai waktu enap, masing-masing beningan dalam beker gelas dipisahkan dari endapan dengan cara didekantir atau dipipet secara hati-hati dan dimasukkan ke dalam wadah, ditutup rapat, kemudian dianalisis kandungan Hg dengan AAS sistem adisi di Laboratorium Balai Kesehatan. Dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas dengan 3 x perulangan.

Reduksi kandungan Hg secara proses adsorpsi dengan variasi berat zeolit

Air limbah Hg dari pertambangan emas rakyat Kulon Progo yang mengandung lumpur diaduk rata, kemudian dituang ke dalam beker

gelas sampai mencapai volume 2000 ml, ditanamkan selama 1 jam. Pada saat mencapai waktu enap 1 jam, beningan dalam beker gelas dipisahkan dari endapan dengan cara didekantir atau dipipet secara hati-hati dan dimasukkan ke dalam wadah A, ditutup rapat, kemudian disimpan yang siap untuk dianalisis kandungan Hg awal dan siap untuk direduksi kandungan Hg dengan adsorben zeolit hasil aktivasi pemanasan 250 °C. Beningan dalam wadah A diaduk rata, kemudian 100 ml beningan dipindahkan dengan pipet ukur masing-masing ke dalam 5 buah beker gelas 100 ml. Dimasukkan zeolit dengan berat masing-masing 1, 2, 3, 4, dan 5 gram hasil aktivasi pemanasan 250 °C ke dalam 5 buah beker gelas yang telah terisi 100 ml beningan limbah, diaduk selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan pada skala 1,5 yang dikalibrasi kecepatan (rpm) dengan *stroboscope*. Ditanamkan selama waktu enap terbaik yaitu dari hasil proses *settling* zeolit dalam larutan terbaik. Beningan hasil *settling* dicuplik 25 ml, dipindahkan ke dalam wadah, ditutup rapat yang siap dianalisis kadar Hg dengan AAS sistem adisi di Laboratorium Balai Kesehatan. Dilakukan dengan cara yang sama seperti di atas sebanyak 3 x perulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil percobaan sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil aktivasi zeolit secara pemanasan dan kimia

No.	Aktivasi Pemanasan		Aktivasi Kimia	
	Suhu (°C)	KTK (me/g)	pH HNO ₃	KTK (me/g)
1	200	1,817	3	1,639
2	250	1,859	4	1,629
3	300	1,543	5	1,633
4	350	1,346	6	1,804
5	400	1,292	7	1,703
KTK zeolit alam = 1,601 me/g				

Dari Tabel 1 terlihat bahwa perlakuan zeolit Gunung Kidul dengan aktivasi secara pemanasan dan secara kimia menunjukkan sedikit peningkatan KTK. Pada aktivasi zeolit secara pemanasan menunjukkan bahwa semakin besar suhu pemanasan mulai terjadi penurunan KTK. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada kisaran suhu > 250 °C tersebut sudah mulai terjadi kerusakan pada struktur kerangka mineral zeolit dengan pertambahan suhu pemanasan,

struktur kerangka mineral zeolit akan rusak total pada suhu lebih dari 400 °C.^(3, 5) Hasil aktivasi terbaik zeolit secara pemanasan dicapai pada suhu 200 – 250 °C dengan nilai KTK 1,817 – 1,859 me/g. Pada aktivasi zeolit secara kimia yang menggunakan asam nitrat menunjukkan bahwa pada pH asam nitrat 3, 4, dan 5 cenderung hampir tidak terjadi peningkatan KTK. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada kisaran pH 3 - 4, maka pada umumnya zeolit tidak tahan

dalam suasana larutan dengan keasaman yang tinggi. ^(3, 5) Namun untuk jenis zeolit tertentu dengan perbandingan Si/Al yang tinggi pada umumnya lebih tahan terhadap asam bila dibandingkan dengan zeolit yang mempunyai perbandingan Si/Al rendah. Hasil aktivasi terbaik zeolit secara kimia dicapai dengan penambahan asam nitrat pada pH 6 dengan nilai KTK 1,804 me/g.

Tabel 2. Hasil pemilihan waktu pengendapan zeolit dalam larutan

No.	Waktu pengendapan (jam)	Kandungan zat padat dalam larutan (g/l)
1	1	9,08
2	2	6,20
3	3	4,92
4	4	4,20
5	5	4,00

Dari Tabel 2 terlihat bahwa semakin besar waktu pengendapan maka semakin baik proses pengendapan butiran zeolit 200 mesh dalam larutan yang disebabkan oleh beberapa parameter yang ada dalam adonan antara lain meliputi : densitas padatan, diameter padatan, densitas larutan, viskositas larutan, dan gaya gravitasi. ⁽⁷⁾ Dilihat dari kandungan zat padat dalam larutan yang masih cukup besar, maka waktu pengendapan perlu ditambah sampai diperoleh beningan dengan kandungan zat padat sekecil mungkin. Hal ini perlu dilakukan karena Hg dalam bentuk ion maupun molekul yang terkandung dalam larutan air limbah akan terjebak oleh butir kecil padatan zeolit dalam larutan atau biasa disebut suspensi zeolit dalam larutan.

Tabel 3. Hasil reduksi Hg dalam air limbah secara *settling*

No.	Waktu <i>settling</i> (jam)	Kandungan Hg dalam beningan (mg/l)	Efisiensi Reduksi Hg
1	1	0,0003	40%
2	2	0,0002	60%
3	3	0,00015	70%
4	4	0,0001	80%
5	5	Tak terdeteksi	
6	6	Tak terdeteksi	
7	24	Tak terdeteksi	
8	48	Tak terdeteksi	
9	72	Tak terdeteksi	
10	96	Tak terdeteksi	

Kadar Hg dalam limbah awal = 0,0005 mg/l
Limit deteksi Hg dengan AAS = 0,0001 mg/l

Dari Tabel 3 terlihat bahwa dengan penambahan waktu *settling* menunjukkan penurunan kandungan Hg dalam beningan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena Hg yang terdapat dalam larutan limbah lebih dominan dalam bentuk molekul yang terdispersi dalam larutan limbah, sehingga karena gaya beratnya dengan gravitasi khas (*specific gravity*) 13,6; maka partikel Hg yang terdispersi dalam larutan akan lebih mudah dan cepat mengendap bersama dengan sebagian suspensi dari partikel lumpur lempung yang terkandung dalam batuan barit yang telah menjerap molekul Hg yang ada dalam air limbah. Suspensi dari partikel batuan barit dalam air limbah yaitu berasal dari penumbukan batuan barit yang mengandung emas yang terdapat dalam tromol pada saat dilakukan proses amalgamasi. Suspensi dari partikel batuan barit

dalam air limbah dengan diameter partikel yang bervariasi akibat penumbukan batuan barit dalam tromol.

Diperkirakan diameter partikel suspensi dalam air limbah < 0,01 mm, dan kemudian apabila dilihat pada kurva hubungan N_{Re} dengan F_D dalam BROWN (1978) ⁽⁷⁾, maka didapat *friction factor* atau *drag coefficient* f_D yang semakin besar untuk diameter partikel yang semakin kecil. Dengan demikian apabila nilai f_D dimasukkan ke dalam persamaan (1), sedangkan menurut ADRI (2000) ⁽⁸⁾ berat jenis batuan barit $\rho_s = 4,3 - 4,6$; maka akan diperoleh kecepatan pengendapan partikel padat V_m semakin besar.

Bila dikorelasikan dengan teori bahwa waktu yang diperlukan padatan bentuk bola dengan diameter 0,01 mm dan 10^{-4} mm dengan berat jenis 2,65 untuk *settling* sejauh 1 ft masing-

masing membutuhkan waktu 33 menit dan 230 hari, maka hasil reduksi Hg dalam air limbah secara *settling* seperti yang terdapat pada Tabel 3 adalah sesuai dengan teori tersebut. Hal ini ditunjukkan dengan waktu *settling* yang

digunakan untuk mereduksi Hg dalam air setelah melewati 33 menit akan memberikan reduksi Hg dalam air limbah sesuai yang disajikan dalam teori di atas.

Tabel 4. Hasil reduksi Hg dalam air limbah dengan zeolit hasil aktivasi pemanasan

No.	Berat zeolit (gram)	Kandungan Hg dalam beningan (mg/l)	Efisiensi Reduksi Hg
1	1	0,00013	74%
2	2	0,00011	78%
3	3	0,00010	80%
4	4	tak terdeteksi	
5	5	tak terdeteksi	

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa dengan penambahan zeolit aktif ke dalam 100 cm³ air limbah dengan kandungan Hg dalam air limbah awal sebesar 0,0005 mg/l, maka efisiensi reduksi Hg semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh terjerapnya Hg ke dalam kerangka struktur zeolit yang terbuka dan memiliki saluran serta rongga-rongga zeolit dimana kation Hg atau molekul Hg yang terdispersi dalam air limbah dapat ditempatkan ke dalam kerangka struktur zeolit.

Karakter zeolit lainnya adalah dari pembentukan kerangka struktur molekular dari penggabungan molekul-molekul tetrahedra membentuk celah-celah dan saluran yang teratur sehingga menyebabkan adanya struktur berpori. Celah-celah dalam struktur tersebut menyebabkan molekul air limbah yang mengandung molekul Hg yang terdispersi dalam air dapat terperangkap dalam struktur berpori tersebut. Hal ini yang menyebabkan zeolit bersifat sebagai penukar ion, penjerap, dan penyaring molekul.^(2,3)

Zeolit yang memiliki muatan negatif pada atom Al menyebabkan zeolit mengikat kation Hg dalam air limbah. Kation Hg yang terikat dalam zeolit tidak terikat pada posisi yang tetap (posisi bukan kerangka), akan tetapi dapat bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit dan dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain dalam air limbah dan terdesorpsi ke dalam air limbah..

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan reduksi Hg dalam air limbah dari penambangan emas tanpa izin di Kulon Progo secara adsorpsi dengan zeolit aktif dan secara *settling* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Aktivasi fisik zeolit Gunung Kidul secara pemanasan dan aktivasi kimia dengan

penambahan HNO₃ menunjukkan peningkatan nilai KTK.

2. Nilai KTK zeolit aktif dari proses aktivasi secara pemanasan lebih baik daripada secara kimia.
3. Aktivasi terbaik terhadap zeolit Gunung Kidul diperoleh pada aktivasi secara pemanasan pada suhu 250 °C dengan KTK = 1,859 me/g
4. Waktu pengendapan terbaik terhadap padatan zeolit dalam cairan aquades sebagai simulasi larutan limbah adalah 5 jam.
5. Reduksi Hg dalam larutan limbah secara *settling* selama 3 jam memberikan efisiensi reduksi dengan nilai yang sama besar dengan cara adsorpsi menggunakan 3 g zeolit aktif.
6. Dari hasil komparasi proses reduksi Hg dalam larutan limbah secara adsorpsi dan *settling*, kemudian apabila ditinjau dari tingkat kesulitan, faktor biaya, dan kemampuan modal para penambang yang minim; maka reduksi Hg dalam air limbah dari tambang emas rakyat Kulonprogo lebih efektif dan efisien dilakukan dengan proses *settling* seperti yang telah lama digunakan oleh para penambang.

DAFTAR PUSTAKA

1. PALAR, H., Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, PT. Rineka Cipta, Jakarta, (1994).
2. <http://www.epa.gov/grtlakes/seahome/mercury/src/exposure.htm>
3. BRECK, D.W., Zeolite Molecular Sieves, Structure, Chemistry, and Use, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1974).
4. OTHMER, K., Encyclopedia of Chemical Technology, 3th ed., vol. 15, John Wiley & Sons, New York, (1981).

5. WIEDERHOLD, E.W., Use of Local Minerals in the Treatment of Radioactive Waste, Technical Report Series No. 136, IAEA, Vienna, (1974).
6. <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/SEDIMENT/sedsettle.html>.
7. BROWN, G.G., Unit Operation, John Wiley & Sons, Inc., Tokyo, (1978), 72-84.
8. ADRI, MUHAMMAD, Pengolahan dan Pemetaan Bahan-bahan Galian Dusun Plampang II, Kokap, Kulon Progo, Yogyakarta, Skripsi Jurusan Teknik Geologi, UGM, Yogyakarta, (2000).

TANYA JAWAB**Isyuniarto**

- *Merkuri yang diteliti merupakan merkuri total atau spesies dari merkuri?. Karena unsur yang paling berbahaya adalah metil merkuri!*
- *Bila zeolit sudah jenuh, bagaimana langkah selanjutnya?*

Herry Poernomo

- Merkuri yang diteliti merupakan spesies merkuri elementer atau Hg^0 , sedang metil

merkuri belum terjadi karena sampel yang diambil tidak berasal dari sedimen sungai.

- Bila zeolit sudah jenuh dengan merkuri, maka merkuri dapat didaur ulang lagi dengan cara zeolit jenuh merkuri difilter press menggunakan filter dari kain parasut.

Lebong Andalaluna

- *Efektivitas metode ini untuk pengurangan pelepasan Hg oleh PETI pada proses penambangan emas?*
- *Biaya proses?*

Herry Poernomo

- Efektivitas metode settling untuk reduksi pelepasan Hg dari proses pengolahan emas cukup baik, karena untuk proses settling selama 5 jam sudah memberikan efisiensi reduksi Hg sebesar 80%.
- Biaya proses relatif murah karena tidak ada penambahan reagen pengendap dan tidak mengonsumsi energi (listrik, panas, mekanik).