



SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA V
"Kontribusi Kimia dan Pendidikan Kimia dalam
Pembangunan Bangsa yang Berkarakter"
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS
Surakarta, 6 April 2013



**MAKALAH
PENDAMPING**

**KIMIA ANORGANIK
(Kode : C-03)**

ISBN : 979363167-8

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR YANG MENGANDUNG LOGAM BERAT SENGG DAN KROMIUM DENGAN KALSIMUM ZEOLIT DAN IMOBILISASINYA DENGAN POLIMER POLIESTER

Wati^{1,*}, Herlan Martono²

^{1,2}*Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN, Gedung 50, Kawasan PUSPIPTEK,
Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia, 15310*

* Keperluan korespondensi Telp/Fax.021-7563142/021-7560927, Email :
wati@batan.go.id

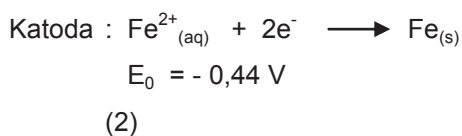
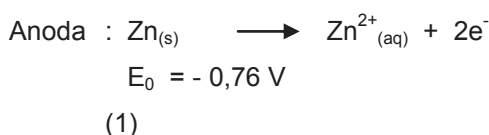
ABSTRAK

Limbah cair industri pelapisan logam yang timbul dari proses hot dip galvanizing mengandung logam berat Zn dan Cr. Limbah ini harus dikelola dengan baik agar tidak membahayakan manusia dan lingkungan. Telah dilakukan solidifikasi limbah cair logam berat Zn dan Cr dari industri pelapisan logam menggunakan kalsium zeolit (Ca-zeolit) dan polimer poliester tak jenuh. Limbah cair Zn dan Cr diserap menggunakan Ca-zeolit kemudian Ca-zeolit yang telah jenuh dengan Zn dan Cr dilakukan solidifikasi menggunakan polimer poliester tak jenuh. Pada penelitian ini digunakan limbah simulasi $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ dan $Cr(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O$ dengan konsentrasi Zn dan Cr masing-masing sebesar 1613 dan 2,03 mg/l. Ca-zeolit dibuat dari zeolit alam Lampung yang dimurnikan, kemudian direfluks dengan NH_4Cl menjadi NH_4 -zeolit, selanjutnya ditambah larutan $CaCl_2$ 0,50 M menjadi Ca-zeolit. Penyerapan Zn dan Cr oleh Ca-zeolit dilakukan pada berbagai variasi waktu kontak : 10, 20, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Solidifikasi Ca-zeolit yang telah jenuh dengan Zn dan Cr menggunakan polimer poliester tak jenuh dilakukan pada berbagai variasi kandungan limbah : 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Pengujian karakteristik hasil solidifikasi dilakukan dengan menentukan : densitas, kuat tekan, dan laju pelindihannya. Kondisi optimum penyerapan Zn dan Cr oleh Ca-zeolit diperoleh pada waktu kontak 60 menit, dengan efisiensi penyerapan Zn dan Cr masing-masing sebesar : 50,06 dan 87,35 %. Berdasarkan densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan, maka hasil solidifikasi blok polimer-limbah terbaik diperoleh pada kandungan limbah 40 % berat. Pada kondisi tersebut hasil solidifikasi blok polimer-limbah mempunyai densitas $1,37 \text{ g/cm}^3$, kuat tekan $4,03 \text{ kN/cm}^2$, dan laju pelindihan untuk Zn dan Cr masing-masing sebesar : $9,81 \cdot 10^{-4}$ dan $6,34 \cdot 10^{-5} \text{ g/(cm}^2 \cdot \text{hari)}$.

Kata Kunci: zeolit, limbah cair seng, limbah cair kromium, industri pelapisan logam, solidifikasi.

PENDAHULUAN

Pelapisan logam atau penyepuhan merupakan proses pengendapan satu lapisan tipis pada suatu permukaan logam. Salah satu logam yang biasa digunakan sebagai pelapis adalah seng (Zn). Pelapisan logam dengan pelapis Zn memiliki beberapa keuntungan yaitu : murah, cukup tersedia di alam dan relatif tahan lama. Pelapisan Zn pada besi baja dilakukan dengan tujuan melindungi permukaan besi terhadap proses korosi karena kontak langsung dengan udara. Keuntungan pelapisan ini yaitu meskipun lapisan Zn telah terkoyak hingga besi baja tampak kelihatan dari luar, tetapi logam Zn akan teroksidasi lebih dulu. Hal ini terjadi karena nilai potensial reduksi Zn lebih negatif daripada besi. Persamaan reaksinya adalah :



Pelapisan Zn dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu proses pencelupan panas (*galvanizing*) dan proses pencelupan dingin (*electrogalvanizing/zincplating*). Pada proses *galvanizing*, besi baja dicelupkan dalam lelehan logam Zn (*hot dipping*), sedangkan pada proses *electrogalvanizing* besi baja diletakkan

dalam larutan elektrolit yang mengandung ion-ion Zn. Tahap akhir pelapisan pada proses *galvanizing* dilakukan dengan nitrasi dan kromatasi. Nitrasi adalah suatu proses untuk mendapatkan hasil pelapisan yang lebih mengkilap setelah besi baja mengalami pelapisan, yaitu dengan cara dicelupkan dalam larutan HNO₃ 1,2 % selama 3-7 detik. Tahap selanjutnya adalah kromatasi, dimana logam yang telah dilapis akan terbentuk lapisan baru yang tipis dan lebih tinggi ketahanan korosinya. Proses kromatasi (pelapisan Cr) ini biasanya dilakukan dengan mencelupkan besi baja dalam larutan yang terdiri dari : air, asam sulfat (H₂SO₄) 5 %, dan potassium kromat (K₂CrO₃) 3 % [1]. Sumber utama limbah cair dari industri pelapisan logam adalah air bilasan yang biasanya mengandung pelarut-pelarut dan logam-logam yang digunakan dengan konsentrasi : 5-50 mg/l [2]. Pada penelitian ini, limbah cair logam berat Zn dan Cr berasal dari proses *galvanizing*. Limbah cair logam berat Cr timbul dari proses kromatasi. Air bilasan yang berasal dari pembersihan dan proses pelapisan logam menjadi limbah, karena mengandung logam berat Zn dan Cr.

Kegiatan industri pelapisan logam mempunyai potensi menimbulkan pencemaran lingkungan hidup. Oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian terhadap pembuangan limbah cair dari industri pelapisan logam tersebut

dengan menetapkan Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Pelapisan Logam seperti yang tercantum dalam Lampiran A.II Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Pelapisan Logam Zn dan Cr disajikan dalam Tabel 1 [3].

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Pelapisan Logam Zn dan Cr [3].

Parameter	Pelapisan krom (Cr)		Pelapisan dan galvanisasi seng (Zn)	
	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (g/m ²)	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (g/m)
TSS	60	6.0	60	6.0
Kadmium (Cd)	0.05	0.005	0.05	0.005
Sianida (CN)	0.5	0.05	0.5	0.05
Logam Total	8.0	0.8	8.0	0.8
Krom Total (Cr)	2.0	0.2	-	-
Krom Heksavalon (Cr + 6)	0.3	0.003	5.0	0.5
Seng (Zn)	-	-	2.0	0.2
PH 6.0 – 9.0				
Debit limbah cair maksimum 100 l/m ² permukaan produk jadi				

Catatan :

1. Kadar maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam milligram parameter per liter air limbah.
2. Beban pencemaran maksimum untuk setiap parameter pada tabel di atas dinyatakan dalam gram parameter per m² produk pelapisan logam.

Banyaknya kandungan logam berat Zn dan Cr dalam air bilasan (air limbah) di atas baku mutu akan menyebabkan pencemaran jika langsung dibuang ke lingkungan. Untuk menghindari masalah tersebut perlu pengolahan terlebih dulu guna mengisolasi logam berat yang ada. Banyak metode yang digunakan oleh para ahli dalam rangka penanganan logam-logam berat di lingkungan, seperti pengendapan dengan cara kimia,

pengenceran maupun penyerapan melalui metode adsorpsi. Keuntungan yang diperoleh dari metode adsorpsi dibanding dengan metode lainnya dalam rangka penanganan logam berat adalah efisiensi biaya, mudah dan tahapan yang singkat dan cepat. Metode adsorpsi menggunakan material padatan sebagai adsorben untuk mengikat logam berat. Adsorben yang telah banyak digunakan untuk adsorpsi logam berat di lingkungan saat ini adalah zeolit, alumina, karbon aktif, tanah diatom, dan lain sebagainya. Salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh adsorben adalah adanya gugus-gugus fungsional yang dapat bertindak sebagai ligan atau donor pasangan elektron untuk mengikat kation logam yang ada di lingkungan. Usaha yang dilakukan oleh para ahli saat ini adalah mencari sumber adsorben baru yang bersifat selektif sehingga dapat digunakan untuk mengisolasi logam berat secara efektif. Salah satu adsorben yang sedang dikembangkan adalah zeolit yang telah dimodifikasi.

Zeolit merupakan mineral yang terdiri atas kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan zeolit dapat menyerap air secara reversibel. Zeolit mempunyai sifat penukar ion, sorpsi, penyaring molekul (*molecular sieving*),

dan katalis sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam pengolahan limbah industri pelapisan logam [4].

Proses penyerapan logam berat Zn dan Cr dari limbah cair industri pelapisan logam dengan zeolit akan menghasilkan zeolit jenuh. Untuk meningkatkan kapasitas serap zeolit terhadap logam berat, maka zeolit akan dimodifikasi menjadi Ca-zeolit. Kalsium zeolit jenuh logam berat Zn dan Cr kemudian disolidifikasi dengan polimer poliester tak jenuh (*unsaturated polyester*). Polimer poliester tak jenuh mempunyai umur panjang dan sifat kimia yang baik, serta sifat fisiknya cukup memadai. Polimer poliester tak jenuh reaksinya eksotermis, sehingga prosesnya lebih sederhana dan termasuk jenis resin termoset yang mempunyai struktur tiga dimensi [5,6]. Polimerisasi yang terjadi secara eksotermis sehingga prosesnya murah, karena dapat dilakukan pada suhu kamar. Dalam makalah ini disajikan tentang peranan zeolit dalam solidifikasi limbah cair logam berat Zn dan Cr dari industri pelapisan logam. Kalsium zeolit digunakan sebagai adsorben dalam proses penyerapan logam berat Zn dan Cr serta dilakukan karakterisasi blok polimer-limbah hasil solidifikasi kalsium zeolit jenuh Zn dan Cr dengan matriks polimer poliester tak jenuh yang meliputi : densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan Zn dan Cr dari blok polimer-limbah ke lingkungan (air pelindih).

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : zeolit Lampung, metil iodida, NaCl jenuh, NH₄Cl jenuh, larutan AgNO₃ 1 %, larutan CaCl₂ 0,5 M, Zn(NO₃)₂.4 H₂O, Cr(NO₃)₃. 9H₂O dari E. Merck dengan kemurnian yang tinggi, polimer poliester tak jenuh, katalis MEKPO yang bersifat asam dari PT Justus Kimia Raya.

Alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : timbangan elektrik, jangka sorong, *bullock* (alat uji kekuatan tekan blok polimer), alat uji pelindihan *Soxhlet*, *laboratory test sieve*, desikator, spektrofotometer serapan atom, *rolling* untuk homogenitas sampel.

Cara Kerja :

- Butiran zeolit dimasukkan ke dalam ayakan dengan ukuran -40+60 mesh (lolos ayakan 40 mesh dan tertahan di ayakan 60 mesh).
- Zeolit alam Lampung 100 gram direfluks dengan 600 ml air bebas mineral pada suhu ± 80 °C selama 3 x 8 jam untuk memisahkan garam terlarut. Setiap 8 jam air bebas mineral diganti dengan yang baru. Zeolit dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam.
- Pemisahan zeolit dari mineral dilakukan dengan memasukkan campuran ke dalam larutan metil iodida (CH₃I). Zeolit yang bebas

- mineral mengapung dibagian atas larutan. Zeolit yang telah dipisahkan disimpan dalam desikator yang mengandung NaCl jenuh minimal 1 minggu sehingga diperoleh zeolit murni.
- Amonium zeolit dibuat dengan mereaksikan 100 gram zeolit murni yang direfluks dengan 400 ml NH_4Cl jenuh pada suhu $\pm 80^\circ\text{C}$ selama 24 jam, kemudian dicuci dengan air bebas mineral sampai filtrat bebas dari ion Cl (ditunjukkan dengan tidak adanya endapan AgCl dalam filtrat, jika ditambah AgNO_3 1 %). Amonium zeolit dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 3 jam, kemudian disimpan dalam desikator yang mengandung NaCl jenuh selama 1 minggu sehingga diperoleh amonium zeolit.
 - Kalsium zeolit diperoleh dari 100 gram amonium zeolit yang direfluks dengan 1 liter larutan CaCl_2 0,5 M pada suhu 90°C selama 5 hari. Setiap hari larutan CaCl_2 diganti dengan yang baru. Selanjutnya Ca-zeolit dicuci dengan air bebas mineral sampai bebas ion Cl, kemudian dikeringkan pada suhu 105°C selama 3 jam. Kalsium zeolit yang sudah dikeringkan lalu disimpan dalam desikator yang mengandung NaCl jenuh dan siap digunakan untuk penelitian [7].
 - Limbah cair dari industri pelapisan logam (*galvanizing*) simulasi dibuat dengan kadar Zn dan Cr masing-masing sebesar 1613 dan 2,03 mg/l.
 - Limbah simulasi 250 ml dalam tabung, ditambah Ca-zeolit 0,25 gram, masing-masing di-rolling selama 10, 20, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit.
 - Limbah simulasi dan beningan setelah kontak dengan Ca-zeolit diambil untuk dianalisis kadar Zn dan Cr-nya.
 - Kalsium zeolit jenuh Zn dan Cr disolidifikasi dengan polimer poliester tak jenuh. Dalam penelitian ini digunakan resin poliester tak jenuh (*unsaturated polyester*) *Yukalac 2252* yang dicampur dengan katalis MEKPO (bersifat asam kuat). Jumlah katalis ditentukan sebesar 1 % berat dari poliester. Kandungan limbah (*waste loading*) dibuat pada berbagai variasi yaitu : 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Blok polimer-limbah dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter 2,5 cm dan tinggi 1,7 cm. Setelah 3 hari blok polimer-limbah diuji densitas, kuat tekan, dan laju pelindahannya [8,9].
 - Uji densitas dilakukan dengan menimbang blok polimer-limbah yang berbentuk silinder dibagi volumenya.
 - Uji kuat tekan menggunakan alat *bullock* dilakukan dengan menekan contoh blok polimer-limbah sampai retak dibagi luas tampangnya.
 - Uji laju pelindihan dilakukan dengan memasukkan contoh polimer-limbah

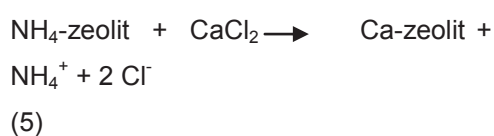
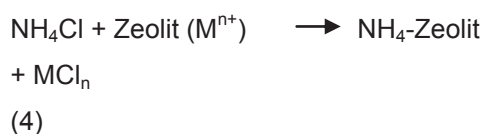
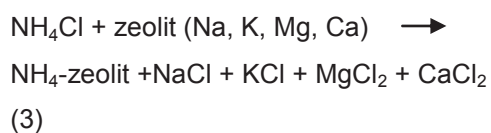
dalam labu alat Soxhlet yang berisi 500 ml air bebas mineral pada suhu 100 °C dan tekanan 1 atm, selama 6 jam. Air pelindih dianalisis kandungan Zn dan Cr dengan Spektrofotometer Serapan Atom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah digunakan zeolit dari Lampung karena berdasarkan hasil karakterisasi zeolit dari Lampung sangat baik digunakan sebagai penukar kation. Zeolit dari Lampung mempunyai luas permukaan spesifik 47,08 m²/g dan kapasitas adsorpsi 24.50 cm³/g lebih besar dibanding zeolit Tasikmalaya (luas permukaan spesifik 21,59 m²/g ; kapasitas adsorpsi 13,85 cm³/g) dan Bayah (luas permukaan spesifik 25,18 m²/g ; kapasitas adsorpsi 13,25 cm³/g) [10].

Zeolit alam banyak mengandung garam terlarut, partikel/mineral berat seperti silikat dan zat pengotor lainnya yang dapat mengganggu proses penyerapan, sehingga diperlukan pengolahan untuk menjadi zeolit murni. Untuk meningkatkan kapasitas serap dan pertukaran kation, dapat dilakukan melalui aktivasi secara fisis maupun kimia. Proses aktivasi secara fisis dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi). Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori dan luas

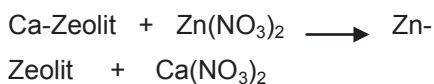
permukaan spesifiknya bertambah. Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam klorida, asam sulfat, amonium klorida, kalsium klorida dan lain-lain. Aktivasi secara kimia bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengganggu dan menata kembali letak atom yang dapat dipertukarkan (sering disebut dengan istilah "modifikasi zeolit"). Dalam rangka untuk menata kembali letak atom yang dapat dipertukarkan, maka dalam penelitian ini zeolit murni yang masih dalam bentuk multi-kation dimodifikasi menjadi zeolit uni kation, yaitu dalam bentuk Ca-zeolit menggunakan kalsium klorida. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut [11] :



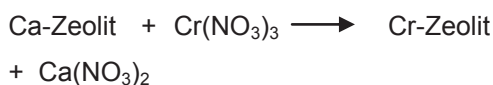
dengan : M = kation zeolit (Al, Fe, Na, K, Ca, Mg, Mn) dan n = elektron valensi logam.

Zeolit merupakan senyawa alumino silikat dengan struktur yang khas, yaitu dengan adanya kekurangan muatan positif pada atom Al-nya menyebabkan zeolit dapat mengikat

kation secara pertukaran ion. Kation zeolit dalam bentuk Ca^+ dapat ditukarkan dengan ion Zn^{2+} dan Cr^{3+} yang terkandung dalam limbah. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

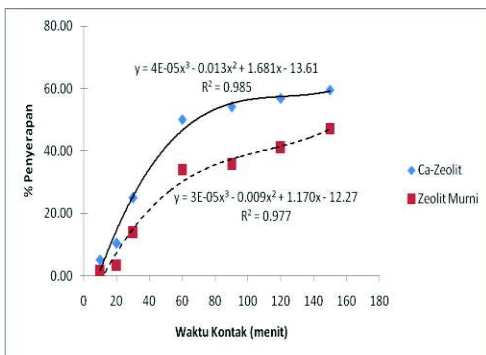


(6)

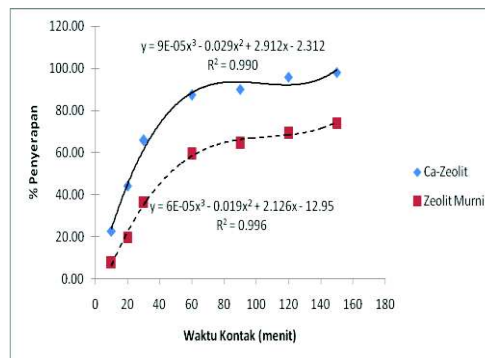


(7)

Disamping sebagai penukar ion, zeolit juga memiliki sifat adsorpsi atau serapan. Hasil penelitian adsorpsi limbah cair logam berat Zn dan Cr oleh kalsium zeolit dengan berbagai variasi waktu kontak ditunjukkan kan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Penyerapan logam berat Zn oleh zeolit murni dan Ca-zeolit pada berbagai variasi waktu kontak.



Gambar 2. Penyerapan logam berat Cr oleh zeolit murni dan Ca-zeolit pada berbagai variasi waktu kontak.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa makin lama waktu kontak, maka efisiensi penyerapan Zn dan Cr makin tinggi. Waktu kontak optimum adalah 60 menit pada efisiensi penyerapan Zn oleh Ca-zeolit dan zeolit murni masing-masing sebesar 50,06 dan 34,01 %, sedangkan efisiensi penyerapan Cr oleh Ca-zeolit dan zeolit murni masing-masing sebesar 87,35 dan 59,34 %. Efisiensi penyerapan Ca-zeolit terhadap Zn dan Cr lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit murni. Hal ini karena pada Ca-zeolit berupa unikation, sedangkan pada zeolit murni berupa multikation. Selanjutnya waktu kontak limbah yang mengandung campuran Zn dan Cr dilakukan selama 60 menit dengan menggunakan Ca-zeolit. Pada kondisi tersebut efisiensi penyerapan Ca-zeolit terhadap Zn dan Cr masing-masing sebesar 38,95 dan 65,15 %. Pada penyerapan limbah campuran dihasilkan efisiensi penyerapan yang lebih kecil. Hal ini karena adanya kompetisi antara unsur-unsur yang terkandung dalam

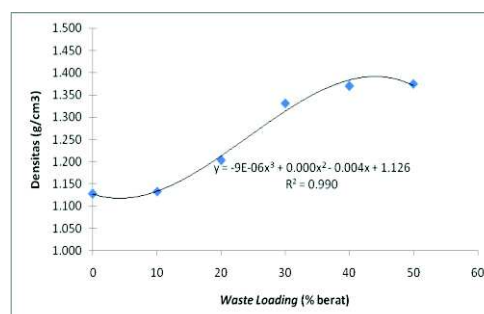
limbah. Proses penyerapan terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi antara unsur dalam limbah dan unsur yang sama dalam zeolit. Penyerapan terjadi dari limbah ke zeolit dan berlangsung terus sampai terjadi kesetimbangan. Perbedaan konsentrasi memberikan gaya dorong (*driving force*) dalam proses penyerapan. Pada konsentrasi rendah banyaknya unsur yang diserap relatif kecil, sedangkan pada konsentrasi tinggi banyaknya unsur yang diserap semakin besar. Pada penelitian ini Zn yang terserap zeolit lebih besar daripada Cr, karena Zn mempunyai konsentrasi awal yang lebih tinggi daripada Cr. Hal ini menyebabkan efisiensi penyerapan Zn menjadi lebih rendah daripada Cr. Perbandingan penyerapan Zn dan Cr dengan Ca-zeolit ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995 Lampiran A.II tentang Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Pelapisan Logam Zn dan Cr ditetapkan bahwa kadar maksimum Zn dan Cr yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan masing-masing adalah sebesar 2 mg/l, sedangkan konsentrasi beningan yang dihasilkan dari proses penyerapan selama waktu optimum adalah sebesar 908 dan 0,27 mg/l. Kandungan unsur Cr sudah berada di bawah nilai baku mutu yang ditetapkan

sehingga bisa langsung dibuang, sedangkan kandungan unsur Zn masih berada di atas nilai baku mutu yang ditetapkan dan tidak bisa langsung dilakukan pembuangan. Oleh karena itu perlu dilakukan operasi bertingkat dalam proses penyerapannya untuk menurunkan kandungan unsur Zn yang ada.

Solidifikasi Kalsium Zeolit Jenuh Zn dan Cr dengan Polimer Poliester Tak Jenuh.

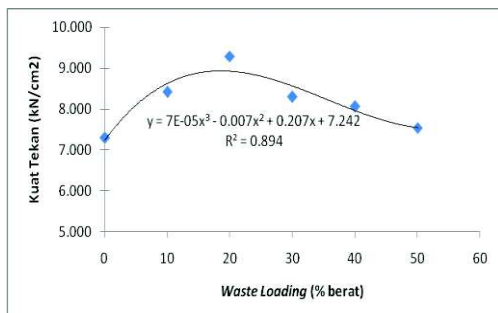
Secara visual terdapat perbedaan warna pada hasil solidifikasi blok polimer-limbah. Untuk kandungan limbah 0 % berat, blok polimer-limbah berwarna kuning. Semakin tinggi kandungan-limbah, maka warna blok polimer-limbah akan semakin coklat. Hal ini karena polimer makin banyak mengandung Ca-zeolit yang mengikat Zn dan Cr. Hasil uji densitas blok polimer-limbah sebagai fungsi kandungan limbah ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh kandungan limbah terhadap densitas blok polimer-limbah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas polimer-limbah semakin besar dengan bertambahnya kandungan limbah. Hal ini karena kenaikan kandungan limbah mengakibatkan persentase unsur-unsur berat dalam gelas-limbah makin bertambah, sehingga densitasnya makin bertambah. Densitas diperhatikan sebagai salah satu karakteristik hasil solidifikasi karena densitas merupakan salah satu parameter blok polimer limbah yang dibutuhkan untuk disain alat proses, memprediksi keselamatan transportasi, penyimpanan sementara (*interm storage*), dan *disposal*.

Hasil uji kuat tekan polimer-limbah sebagai fungsi kandungan limbah ditunjukkan pada Gambar 4.

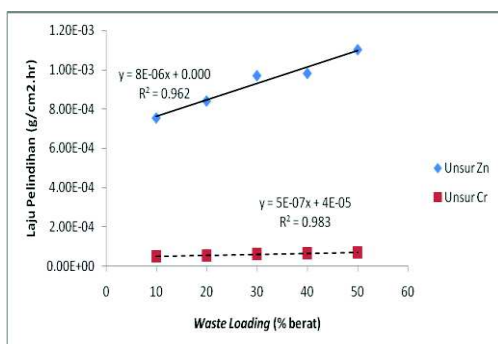


Gambar 4. Pengaruh kandungan limbah terhadap kuat tekan blok polimer-limbah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kandungan limbah 10 % berat, maka kuat tekan polimer-limbah naik. Hal ini disebabkan karena Ca-zeolit yang jenuh Zn dan Cr mengisi rongga (sebagai *filler*) diantara ikatan-ikatan dalam polimer. Pada kenaikan

kandungan limbah berikutnya, kuat tekan polimer-limbah menurun. Hal ini karena rongga yang terbentuk tidak cukup untuk mengungkung Ca-zeolit jenuh Zn dan Cr, sehingga terbentuk komposit yang rapuh.

Laju pelindihan adalah salah satu karakteristik blok polimer- limbah yang penting untuk evaluasi hasil solidifikasi, karena tujuan akhir solidifikasi limbah cair adalah memperkecil potensi terlepasnya logam berat Zn dan Cr yang ada dalam limbah itu ke lingkungan. Laju pelindihan dipercepat digunakan pada penelitian jangka pendek untuk mengetahui pengaruh beberapa parameter dan mengevaluasi kualitas hasil solidifikasi. Laju pelindihan dalam hal ini diasumsikan sebagai lepasnya sejumlah unsur limbah (Zn dan Cr) dari blok polimer-limbah. Untuk mengetahui unsur limbah (Zn dan Cr) yang terlindih selama uji pelindihan dilakukan analisis air pelindih menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. Hasil uji laju pelindihan Zn dan Cr dari blok polimer-limbah sebagai fungsi kandungan limbah ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh kandungan limbah terhadap laju pelindihan Zn dan Cr dari blok polimer-limbah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa makin besar kandungan limbah, maka laju pelindihannya makin besar. Hal ini karena perbedaan konsentrasi Zn dan Cr dalam polimer-limbah dan dalam air bebas mineral sebagai air pelindih makin besar. Pada difusi gaya dorong (*driving force*) terjadinya difusi adalah perbedaan konsentrasi. Perbedaan konsentrasi yang besar mengakibatkan difusi yang besar, sehingga laju pelindihannya besar. Demikian pula laju pelindihan Zn lebih besar daripada Cr, karena konsentrasi Zn jauh lebih besar daripada Cr. Besarnya laju pelindihan yang diperoleh berkisar antara : 10^{-5} - 10^{-4} g/(cm².hari), relatif kecil dan memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Berdasarkan pengujian hasil solidifikasi polimer-limbah yang meliputi densitas, kuat tekan dan laju pelindihan, maka diperoleh blok polimer-limbah terbaik pada kandungan limbah 40 % berat. Pada kondisi tersebut blok polimer-limbah mempunyai densitas

1,37 g/cm³, kuat tekan 4,03 kN/cm², dan laju pelindihan untuk Zn dan Cr masing-masing sebesar : $9,81 \cdot 10^{-4}$ dan $6,34 \cdot 10^{-5}$ g/(cm².hari). Pemilihan polimer-limbah dengan kandungan limbah 40 % berat, karena masih memenuhi syarat dari aspek keselamatan dan ekonomi. Kandungan limbah yang besar, berarti untuk setiap proses limbah yang diolah banyak, sehingga lebih ekonomis.

Apabila solidifikasi limbah cair menggunakan matriks polimer poliester tak jenuh (polimerisasi) dibandingkan dengan solidifikasi limbah cair menggunakan matriks semen (sementasi) berdasarkan standar *International Atomic Energy Agency* (IAEA) maka untuk blok beton, yaitu : densitas 1,70 – 2,50 g/cm³, kuat tekan 2 – 5 kN/cm², dan laju pelindihan $1,7 \cdot 10^{-1}$ - $2,50 \cdot 10^{-4}$ g/(cm².hari) [12] dihasilkan :

- Densitas lebih kecil, berarti untuk volume yang sama maka beratnya lebih sedikit, sehingga lebih ekonomis.
- Kuat tekan memenuhi standar, sehingga dari aspek keselamatan memenuhi syarat.
- Laju pelindihan lebih kecil sehingga mempunyai aspek keselamatan yang lebih tinggi.
- Kandungan limbah yang tinggi, maka lebih ekonomis. Hal ini akan lebih nampak untuk negara-negara yang harga lahannya mahal.

Sehingga dapat dikatakan penggunaan polimer poliester tak jenuh dapat menurunkan ekonomi pengelolaan limbah (transportasi, penyimpanan, dan disposal) karena reduksi volumenya besar dan kandungan limbah yang besar pula. Penggunaan polimer poliester tak jenuh meningkatkan aspek keselamatan karena laju pelindihan yang lebih kecil dan reaksinya eksotermis.

KESIMPULAN

1. Kalsium zeolit dapat berperan sebagai adsorben dalam proses solidifikasi limbah cair logam berat Zn dan Cr dari industri pelapisan logam, dengan efisiensi penyerapan yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit murni. Waktu kontak optimum penyerapan limbah cair logam berat Zn dan Cr dari industri pelapisan logam oleh Ca-zeolit adalah 60 menit dengan efisiensi penyerapan Zn dan Cr masing-masing sebesar : 50,06 dan 87,35 %.
2. Berdasarkan densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan, maka hasil solidifikasi blok polimer-limbah terbaik diperoleh pada kandungan limbah 40 % berat. Pada kondisi tersebut hasil solidifikasi blok polimer-limbah mempunyai densitas $1,37 \text{ g/cm}^3$, kuat tekan $4,03 \text{ kN/cm}^2$, dan laju pelindihan untuk Zn dan Cr masing-masing sebesar : $9,81 \cdot 10^{-4}$ dan $6,34 \cdot 10^{-5} \text{ g/(cm}^2 \cdot \text{hari)}$.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Anonim, 2010, *Electroplating Seng*, Duraposita Chemical, Jakarta.
- [2] Purwanto, 2004, *Perbaikan Proses Plating Seng untuk Meningkatkan Efisiensi*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995.
- [4] Las Thamzil, 2005, *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*, Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif, BATAN, Tangerang.
- [5] James E. Mark, 2006, *Physical Properties of Polymer Handbook*, 2nd, New York.
- [6] Joel R. Fried, 1995, *Polymer Science and Technology*, Prentice-Hall Inc, USA.
- [7] Zamroni Husen, 1997, *Kestabilan Panas dan Kimia Zeolit*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Pengolahan Limbah I, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN, Tangerang.
- [8] International Atomic Energy Agency, 1997, *Characterization of Radioactive Waste Form and*

Package, Technical Report Series No. 383, IAEA, Vienna.

[9] International Atomic Energy Agency, 2007, *Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization*, Tecdoc No. 1537, IAEA, Vienna.

[10] ASLINA, dkk., 2006, *Analisis Zeolit untuk Pemungutan Isotop Cesium dan Uranium*, Hasil-hasil Penelitian PEBN, PEBN-BATAN, Serpong.

[11] Tsitsishvili, et al, 1992, *Natural Zeolit*, 1st edition, Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, PO 19, IEB, England.

[12] Elden A.D, 1983, *Process for Immobilization of Radioactive Waste in Cement Matrix*, Proceeding of Symposium Conditioning of Radioactive Waste Storage and disposal, IAEA, Vienna.

TANYA JAWAB

Nama Penanya :Nia Nurfitria

Nama pemakalah : Wati

Pertanyaan :

1. Bagaimana pengaruh simulasi limbah yang digunakan? Apakah jika limbahnya berbeda,

efektivitas Ca-Zeolitnya akan berbeda?

2. Apakah fungsi solidifikasi limbah Cr dan Zn

Jawaban:

1. Limbah simulasi yang digunakan adalah $Zn(NO_3)_2$ dan $Cr(NO_3)_3$. Limbah cair dari industri pelapisan logam(galvanisasi) adalah air bilasan yang biasanya mengandung logam berat Zn dan Cr dalam larutan asam nitrat. Meskipun simulasi tapi dibuat dalam senyawa yang sama dan dalam kondisi yang menyerupai limbah aslinya sehingga diharapkan efektivitas Ca-zeolit tidak jauh berbeda.

2. Fungsi solidifikasi limbah Cr dan Zn adalah untuk mempermudah penanganan/ pengelolaan limbah tersebut dan mempertinggi faktor keselamatan pada saat disposal(pembuangan/ penyimpanan lestari)