

# Penentuan Efisiensi Immobilisasi Kromium (VI) Pada Geopolimer Abu Sekam Padi dengan Uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*)

K.S. Budiasih

Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta  
ks\_budiasih@yahoo.co.uk

## ABSTRACT

This research aimed to determine the efficiency of immobilization of Cr(VI) on the rice husk ash based geopolymer with a TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) study. The TCLP was refer to the standard method from *Japan Environmental Agency*. There were three variables used i.e., concentration of Cr(VI) impregnated, particles size, and the kind of leaching water. Determination of immobilization efficiency was done by calculate the concentration of Cr(VI) in the leachate water after the leaching processes. Quantitative measurement of the chromium was done by Uv-Vis spectrometer with biphenyl carbazid reagent. Immobilization of Cr(VI) on the rice husk ash based geopolymer was establish until 25 ppm Cr impregnated. The efficiency of the immobilization can reach 90% - almost 100% depend on the variable of leaching processes.

**Keywords:** efficiency, immobilization, geopolymer, rice husk ash, TCLP study

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menentukan Efisiensi Immobilisasi Kromium (VI) pada geopolimer berbahan abu sekam padi dengan uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*). Penelitian ini merupakan kelanjutan penelitian sebelumnya yang berupa sintesis geopolimer abu sekam padi bertambat kromium (VI) dengan variasi konsentrasi (Budiasih dkk, 2008). Uji TCLP mengacu pada metode baku *Japan Environmental Agency*. Variabel yang digunakan adalah konsentrasi krom tertambat, ukuran partikel geopolimer dan jenis air pelindi. Penentuan efisiensi immobilisasi dilakukan dengan menghitung konsentrasi Cr (VI) pada air lindi sesudah proses perlindian. Pengukuran secara kuantitatif terhadap kromium dilakukan dengan Spektrofotometer Uv-Visibel dengan reagen Difenil karbazid. Hasil Penelitian menunjukkan Immobilisasi Cr(VI) pada geopolimer abu sekam padi telah dapat dilakukan dengan baik hingga konsentrasi Cr(VI) sebesar 25 ppm. Efisiensi immobilisasi Cr(VI) dalam geopolimer abu sekam padi dapat mencapai 90% hingga mendekati 100% untuk berbagai variasi uji TCLP.

**Kata-kata kunci:** efisiensi, immobilisasi, geopolimer, abu sekam padi, Uji TCLP

## Pendahuluan

Krom (VI) adalah salah satu spesies kimia yang dianggap berbahaya, salah satunya karena sukar terdegradasi dan bersifat akumulatif di dalam tubuh (Connel & Miller, 1995). Limbah dari beberapa proses seperti elektroplating dan penyamakan kulit memberikan emisi kromium yang cukup banyak ke lingkungan. Oleh karena itu upaya pengolahan limbah yang mengandung kromium (VI) harus terus dilakukan. Ada beberapa metode yang telah dilakukan untuk pengolahan limbah kromium. Metode yang banyak dipilih adalah reduksi yang menghasilkan pengendapan dan dilanjutkan dengan pemadatan dan pembuangan ke area *landfill*. Pencarian alternatif bahan imobilisasi masih sangat diperlukan.

Sementara itu, di sekitar kita banyak bahan buangan yang berpotensi untuk diolah dan dimanfaatkan. Sebagai contoh, sekam yang banyak digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembuatan keramik, campuran pembuatan bata merah dan untuk abu gosok. Abu sekam padi banyak mengandung  $\text{SiO}_2$  sekitar 80-90%. Abu sekam padi dapat dimanfaatkan untuk membuat

geopolimer. Geopolimer adalah heteropolimer berbentuk jaringan dengan monomer tersusun oleh  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  yang terhubung oleh oksigen (Rowles, 2004).

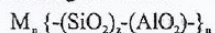
Geopolimer memiliki sifat seperti semen, sehingga berpotensi menjadi material pilihan yang baru untuk menggantikan peran semen portland atau *Ordinary Portland Cement (OPC)* yang selama ini menjadi material utama dalam solidifikasi. Immobilisasi spesies kimia dalam geopolimer abu sekam merupakan upaya yang menjawab beberapa masalah antara lain:

1. Produksi semen menghasilkan  $\text{CO}_2$  yang menyumbang sekitar 65% pemanasan global.
2. Material limbah seperti abu sekam padi mengandung silika dan alumina yang potensial untuk dimanfaatkan.
3. Immobilisasi terhadap limbah cair Cr (VI) semacam ini dapat dilakukan dengan material sejenis semen seperti geopolimer.

Geopolimer juga disebut sebagai polisialat, singkatan dari poli silika-oxo-aluminat, dengan monomer



tersusun sebagai berikut:



Harga  $z$  berkisar antara 1-3.  $M$  adalah kation monovalen seperti Na atau K, sementara  $n$  adalah derajat polimerisasi. Untuk  $z = 1, 2$  atau  $3$  penamaan yang diusulkan oleh Davidovits (1989) masing-masing adalah poli(sialat), poli(sialat-silokso) dan poli(sialat-disilokso). Pembentukan polimer dengan harga  $z$  lebih dari 3 juga dapat terjadi.

Sedikit berbeda dengan zeolit, geopolimer memiliki struktur yang amorf. Karakterisasi bisa dilakukan dengan FTIR dan NMR (Barbosa *et al.*, 2000). Bahan utama / precursor geopolimer adalah bahan yang mengandung aluminosilikat seperti metakaolinit, kaolinit, dan sumber silikat lain seperti *fly ash*, abu sekam padi dan campuran berbagai bahan tersebut. Laju proses tergantung reaktivitas precursor. Abu sekam padi berpotensi menyumbang silika ( $SiO_2$ ) karena mengandung  $SiO_2$  sekitar 80-90% (Andriati, 2007)

Pembentukan geopolimer dapat dilakukan dengan aktivasi alkalis dari aluminosilikat, yang dimulai dengan penambahan alkali aktivator. NaOH, KOH dan  $Ca(OH)_2$ . Penambahan hidroksida ini mengawali proses polikondensasi yang membentuk material seperti semen (Rowles, 2004).

Reaksi polimerisasi geopolimer bersifat eksotermik dan dapat dikerjakan pada temperatur antara temperatur kamar hingga sekitar  $150^\circ C$ . Biasanya temperatur di bawah  $100^\circ C$  dipilih untuk menghindari adanya uap air yang bisa menambah tekanan dalam reaktor. Dalam kasus imobilisasi spesies kimia dalam geopolimer perlu dilakukan pengujian apakah spesies tersebut stabil dalam imobilisasinya/ tidak terlindi. Pelindian dapat disebabkan oleh air, larutan asam, basa atau garam. Dalam aplikasi, pelindian dapat juga disebabkan oleh air hujan, air resapan tanah atau air laut.

Sejumlah riset melibatkan imobilisasi spesies kimia dan uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*). Upaya stabilisasi limbah yang mengandung kromium dari industri penyamakan kulit dengan semen portland telah dilakukan oleh Prodjosantosa dkk (2005). Dengan upaya pengurangan penggunaan semen demi mendukung industri yang lebih ramah lingkungan, penggunaan bahan pengganti semen menjadi penting untuk diteliti. Salah satu material alternatif tersebut adalah geopolimer.

Perera *et al.* (2000) melakukan imobilisasi Pb dengan geopolimer yang disintesis dari metakaolin. Uji

TCLP menunjukkan bahwa konsentrasi Pb yang dilepaskan tak lebih dari 5 ppm, sehingga masih memenuhi aturan EPA untuk landfill di Amerika. Phair dan Van de venter (2001) melakukan imobilisasi terhadap ion Pb dan melibatkan uji TCLP. Palomo (2003) mempelajari pengaruh Cr dalam imobilisasi dengan semen portland dan geopolimer. Pada semen ditemukan bahwa Cr tergabung menjadi  $Ca_2CrO_4$ . Imobilisasi dalam semen menurunkan kuat tekan hingga 10 kali lebih kecil. Timbal dapat ditangkap secara baik di dalam geopolimer. Penambahan Pb sampai 3,125% tidak mempengaruhi kekuatan matriks geopolimer. FTIR tidak menunjukkan adanya ikatan yang menunjuk pada ikatan dengan Pb, sementara difraktogram dari XRD menunjukkan adanya sedikit  $Pb_3SiO_5$ . Dari penelitian ini juga dilaporkan bahwa ion logam bisa berinteraksi baik secara fisika maupun kimia di dalam jaringan polimer geopolimer. Pelindian /leaching pada geopolimer selalu lebih rendah daripada semen Portland.

Geopolimer abu sekam padi telah dapat disintesis dengan melibatkan larutan simulasi Cr(VI) (Budiasih dan Prodjosantosa, 2009). Dari penelitian ini telah diketahui bahwa geopolimer yang dihasilkan berupa material amorf dengan komposisi Si/Al 1:1. Imobilisasi terhadap Cr(VI) berhasil dilakukan dengan konsentrasi maksimum 25 ppm.

Dari berbagai laporan tersebut, geopolimer diketahui mampu mengakomodasi air limbah yang mengandung logam berat atau B3. Proses ini akan menghambat mobilisasi logam berat atau limbah B3 lainnya ke dalam perairan lingkungan. Sebuah keunggulan yang perlu dicatat adalah bahwa geopolimer yang telah menstabilisasi spesies limbah tetap dapat digunakan untuk fungsi-fungsi tertentu seperti barang seni atau profile dalam konstruksi.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut perlu dikembangkan cara penentuan efisiensi imobilisasi untuk memastikan kualitas pengolahan limbah Cr dengan metode ini. Pengujian dapat dilakukan dengan uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*)

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk:

1. menentukan efisiensi imobilisasi Cr (VI) pada geopolimer abu sekam padi pada variasi konsentrasi Cr tertambat dan jenis air pelindi. Efisiensi ditentukan dari data uji TCLP terhadap geopolimer abu sekam padi bertambat Cr(VI).
2. Memberikan rekomendasi penggunaan geopolimer bertambat Cr(VI).



### Metode Penelitian

Penelitian ini melibatkan alat-alat berupa: autoclave, oven, cetakan 3x3x3cm, neraca analitik, desikator, ayakan, peralatan gelas, : gelas beker, gelas ukur, pipet volume, pengaduk, corong gelas dan Spektrofotometer UV-Visibel (UV-Vis)

Bahan penelitian meliputi : geopolimer abu sekampadi-metakaolin (dari penelitian sebelumnya), Beberapa jenis air pelindi : akuades, air sumur, air hujan, air laut, larutan standar kalium kromat, difenilkarbazida, asam sulfat, aseton (reagen analisis spektrofotometri UV-Vis).

Geopolimer abu sekam padi bertambat kromium telah diperoleh dari penelitian sebelumnya. Konsentrasi kromium (VI) tertambat adalah 15,20 dan 25 ppm (3-5 kali ambang batas maksimum Cr(VI) di lingkungan).

Ukuran partikel geopolimer yang digunakan adalah ukuran cetakan (3x3x3 cm), butiran kasar, dan butiran halus ukuran lolos 80 mesh dan butiran halus lolos 200 mesh. Air pelindi yang disiapkan adalah akuades, air sumur, air hujan, dan air laut.

#### a. Uji Perlindian (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP*) meliputi :

Set pertama: Sampel geopolimer bertambat kromium dalam variasi konsentrasi (0, 15, 20, 25 ppm) direndam dalam akuades.

Set kedua: sampel geopolimer bertambat kromium 15 ppm direndam dalam berbagai cairan pelindi (akuades, air sumur, air hujan, air laut). Perendaman dilakukan dalam 10 hari dengan penggantian air setiap hari (mengacu pada *Japan Environmental Agency*). Cairan pelindi yang telah melewati matriks geopolimer ditampung setiap hari dan diperiksa dengan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui kandungan krom (VI) (jika ada). Metode yang digunakan adalah pengukuran dengan reagen difenil karbazida. Larutan standar yang digunakan dalam pengukuran adalah  $K_2CrO_4$ .

- #### b. Pengukuran konsentrasi Cr(VI) dengan Spektrometer UV-Vis, meliputi :
- pembuatan larutan standar kromium (VI) dari kalium kromat ( $K_2CrO_4$ ) dengan titik konsentrasi 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 2; 4; 6; 8; dan 10 ppm, pembuatan reagen difenilkarbazida 0,25% dibuat dengan pelarutan difenilkarbazida 0,25 gram dalam aseton 50% hingga volume 100 mL dan pembuatan larutan sampel yang akan diukur dilakukan dengan pencampuran 15 mL sampel

dengan asam sulfat 3M (0,83 mL) dan 1 mL reagen difenilkarbazida.

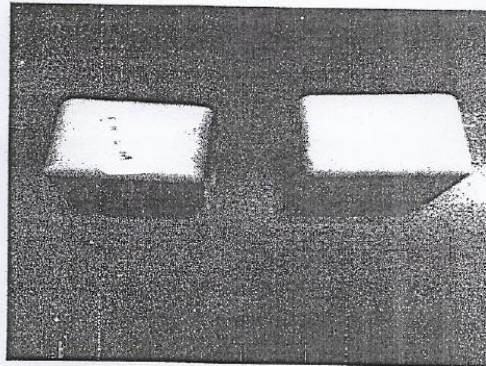
Larutan standar dan sampel diukur absorbansinya dengan spektrometer UV-Vis pada panjang gelombang 543 nm. Konsentrasi Cr(VI) terlindi dihitung dengan plot kurva standar Cr dari larutan standar. Efisiensi immobilisasi ditentukan dengan perhitungan (persamaan 1).

$$Ei = \frac{[Cr]_{awal} - [Cr]_{terlindi}}{[Cr]_{awal}} \times 100\% \quad (1)$$

### Pembahasan

#### a. Immobilisasi kromium

Immobilisasi (penambatan) kromium (VI) telah dilaksanakan pada penelitian sebelumnya (Budiasih dan Prodjosantosa, 2009). Hasilnya adalah geopolimer bertambat kromium (VI) dengan variasi konsentrasi 15, 20 dan 25 ppm. Ukuran cetakan yang dipakai adalah 3x3x3 cm. Secara fisik, penampilan geopolimer bertambat kromium tidak berbeda dengan geopolimer tanpa kromium (Gambar 1).



Gambar 1. Geopolimer abu sekam padi-metakaolin bertambat kromium (VI)

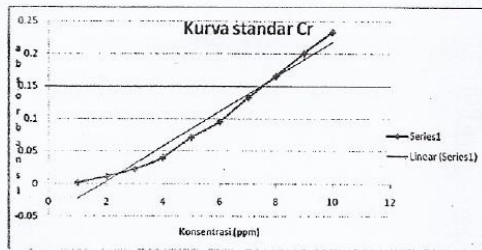
#### b. TCLP dan pengukuran konsentrasi Cr(VI) dengan Spektrometer UV-Vis

Proses uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) atau uji perlindian dilakukan untuk menguji apakah krom yang telah tertambat di dalam geopolimer akan dapat dikeluarkan/ dilarutkan/ dilindikan oleh cairan tertentu. Hal ini diperlukan untuk memberikan keyakinan bahwa spesies kimia yang tersimpan, baik dalam sebuah landfill atau material padat dalam proses solidifikasi cukup stabil berada dalam media penyimpanannya.



Pengujian TCLP dalam penelitian ini terlaksana dengan baik sesuai prosedur yang diacu dari *Japan Environmental Agency*. Variabel yang digunakan adalah konsentrasi kromium tertambat (0, 15, 20, 25 ppm); jenis cairan pelindi (akuades, air hujan, air sumur dan air laut), serta ukuran partikel geopolimer (cetakan, butiran kasar, butiran halus lolos 80 mesh dan butiran halus lolos 200 mesh). Pengujian dilakukan selama 10 hari.

Pengukuran dilakukan dengan spektrofotometer *Uv-Vis* pada panjang gelombang 543 nm. Prosedur yang digunakan adalah pengomplekan dengan reagen difenilkarbazida dan menghasilkan warna ungu lembayung. Hasil pengukuran standar disajikan sebagai kurva standar yang tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva standar pengukuran Cr(VI)

Persamaan garis lurus :  $y = 0,023x + 0,012$ . Limit deteksi alat adalah 0,02 ppm. Dengan memasukkan data pengukuran absorbansi sampel pada kurva standar tersebut, diperoleh konsentrasi sampel.

#### c. TCLP pada variasi konsentrasi krom tertambat

Pemilihan variabel ini didasarkan pada hipotesis, apakah konsentrasi krom tertambat mempengaruhi besarnya perindian yang terjadi. Hipotesis ini perlu karena kapasitas penambatan krom dalam suatu matriks padatan (geopolimer) memiliki ukuran tertentu. Imobilisasi krom dalam geopolimer diduga akan mencapai tingkat kejenuhan. Jika kapasitas ini diketahui, maka akan dapat digunakan sebagai panduan untuk mengaplikasikan proses imobilisasi krom dan spesies lainnya dari sumber limbah berbagai industri.

Variasi konsentrasi yang diamati adalah 15, 20 dan 25 ppm. Sebagai kontrol adalah konsentrasi 0 ppm (geopolimer abu sekam padi tanpa ditambat krom). Air pelindi yang digunakan pada set ini adalah akuades. Hasil pengujian TCLP pada variasi konsentrasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi krom terlindi pada geopolimer dengan variasi konsentrasi krom tertambat

No	Konsentrasi (ppm)				
	Hari ke	0	15	20	25
1	1	Ttd	Ttd	0,0696	0,0913
2	2	Ttd	Ttd	Ttd	0,0130
3	3	Ttd	Ttd	Ttd	0,0308
4	4	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
5	5	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
6	6	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
7	7	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
8	8	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
9	9	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
10	10	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
	Konsentrasi kumulatif	Ttd	Ttd	0,0696	0,1391

Keterangan : Ttd = tidak terdeteksi.  
Baku mutu EP Toxicity : 5 ppm.

Data menunjukkan bahwa krom yang ditambahkan pada matriks geopolimer cukup stabil. Hal ini dapat dilihat dengan jumlah krom yang terlindi yang cukup kecil (di bawah baku mutu konsentrasi krom yang diijinkan). Sejumlah kecil krom yang terlindi juga hanya muncul pada hari-hari pertama pengujian. Jumlah krom terlindi lebih besar pada konsentrasi yang lebih tinggi (25 ppm). Fakta ini menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi krom yang ditambahkan pada kemungkinan terjadinya perindian. Hal ini merupakan sesuatu yang wajar karena terbatasnya kapasitas geopolimer untuk menambat spesies kimia.

#### d. TCLP pada variasi air pelindi

Pengujian dengan variasi air pelindi dilakukan dengan pertimbangan kemungkinan kontak geopolimer dengan cairan tersebut dalam penggunaan sehari-hari. Beberapa jenis air yang berpeluang kontak dengan produk geopolimer adalah air hujan, air sumur dan air laut. Sampel yang digunakan adalah geopolimer bertambat kromium 15 ppm (Tabel 2).



Tabel 2. Konsentrasi krom terlindi pada geopolimer dengan variasi air pelindi

No	Konsentrasi (ppm) Hari ke	Air sumur	Air laut	Air hujan
1	1	Ttd	Ttd	Ttd
2	2	Ttd	Ttd	0,5401
3	3	Ttd	Ttd	Ttd
4	4	0,3080	Ttd	Ttd
5	5	Ttd	Ttd	Ttd
6	6	Ttd	Ttd	Ttd
7	7	Ttd	Ttd	Ttd
8	8	Ttd	Ttd	Ttd
9	9	Ttd	Ttd	Ttd
10	10	Ttd	Ttd	Ttd
	Konsentrasi kumulatif	0,3080	Ttd	0,5401

Cairan dengan pH yang rendah dapat melindungi lebih banyak karena interaksi O pada geopolimer dan H<sup>+</sup> pada air. Semakin banyak H<sup>+</sup> semakin mudah terlindi. Data pH tiap cairan pelindi dicantumkan pada Tabel 3

Tabel 3. pH cairan pelindi yang digunakan

No	Hari ke	pH Air sumur	pH Air hujan	pH Air laut
1	0 (awal proses)	7,4	5,7	7,8
2	1	10,1	10,7	8,4
3	10	7,7	7,5	7,7

**e. TCLP pada variasi ukuran partikel geopolimer**

Perlindungan juga diamati dengan variabel ukuran partikel geopolimer. Hal ini didasarkan pada pertimbangan adanya pengaruh ukuran partikel terhadap kemampuan perlindungan. Walaupun dalam penggunaan sehari-hari geopolimer berada dalam bentuk cetakan, namun kemungkinan terjadinya pemecahan yang memungkinkan terjadinya perlindungan juga diamati. Pada pengamatan terhadap variabel ini, digunakan geopolimer bertambat Cr 20 ppm dan air pelindi akuades. Data konsentrasi krom terlindi dicantumkan dalam Tabel 4.

Pada dasarnya semakin rapat partikel padatan yang menambat spesies kimia, penambatan semakin stabil. Hal yang demikian adalah wajar karena semakin rapat media penyimpanannya, semakin sulit suatu spesies akan terlepas dari mediana. Dalam penelitian ini, geopolimer dalam bentuk butiran kasar memberikan kestabilan yang baik, dan tidak jauh berbeda dengan bentuk cetakan. Butiran halus yang diayak, baik 80 mesh

Tabel 4. Konsentrasi krom terlindi pada geopolimer dengan variasi ukuran partikel

No	ukuran partikel Hari ke	Cetakan	Butiran kasar	Partikel lolos 80 mesh	Partikel lolos 200 mesh
1	1	1,0717	0,5612	1,6118	1,8861
2	2	0,2911	0,2532	0,0451	0,5190
3	3	Ttd	0,2700	0,3249	0,1139
4	4	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
5	5	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
6	6	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
7	7	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
8	8	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
9	9	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
10	10	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd
	Konsentrasi kumulatif	1,3628	1,0844	1,9818	2,5190

maupun 200 mesh memberikan jumlah krom terlindi yang lebih banyak. Hal ini wajar pula, karena luas permukaan kontak geopolimer dengan air pelindi semakin luas, sehingga memungkinkan kontak yang lebih banyak.

**f. Penentuan efisiensi immobilisasi Cr(VI) dalam geopolimer**

Efisiensi immobilisasi ditentukan dengan membandingkan selisih antara krom yang terlindi dan krom yang tertambat, dengan krom yang tertambat.

Tabel 5. Efisiensi immobilisasi

No	Variabel	Keterangan	Efisiensi Immobilisasi (%)
1	Konsentrasi krom (sampel cetakan, akuades)	0 ppm	~ 100
2		15 ppm	~ 100
3		20 ppm	99,652
4		25 ppm	99,443
5	Air pelindi (sampel cetakan, G 15)	Air sumur	97,946
6		Air hujan	~96,399
7		Air laut	~ 100 %
8	Ukuran partikel (sampel G 20, akuades)	cetakan	93,186
9		Butiran kasar	94,578
10		Butiran halus 80 mesh	90,091
11		Butiran halus 200 mesh	87,405



Secara umum, efisiensi immobilisasi kromium (VI) dalam geopolimer abu sekam padi yang diamati dalam penelitian ini adalah baik, di atas 90%. Nilai yang lebih rendah hanya terjadi pada partikel yang dihaluskan hingga lolos 200 mesh. Perlindian pada sampel yang dihaluskan lebih besar daripada sampel lain yang berbentuk cetakan. Dengan informasi ini, direkomendasikan untuk menggunakan geopolimer dalam bentuk cetakan, sesuai bentuk yang dibuat pada saat proses immobilisasi. Untuk mengantisipasi terpaan air hujan sebaiknya geopolimer digunakan sebagai *indoor material*.

#### Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Immobilisasi Cr(VI) pada geopolimer abu sekam padi telah dapat dilakukan dengan baik hingga konsentrasi Cr(VI) sebesar 25 ppm. Efisiensi immobilisasi Cr(VI) dalam geopolimer abu sekam padi dapat mencapai 90% hingga mendekati 100% untuk berbagai variasi uji TCLP.
2. Untuk mengantisipasi terpaan air hujan sebaiknya geopolimer digunakan sebagai *indoor material*.

#### Pustaka

- Andriati, A.H., 2007, Pemanfaatan Sekam Padi dan Abu Sekam Padi untuk Pembuatan Bata Beton Berlubang, *Jurnal Balitbang PU*, Bandung.
- Archer, R.D., 2001, *Inorganic and Organometallic Polymers*, John Willey & Sons, Pub., New York.
- Budiasih, K.S., Prodjosantosa, A.K., 2009, Preparation and Characterization of Rice Husk Based Geopolymer, International Chemistry Seminar, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Connel, D.W., Miller G.J., 1995, *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*, UI Press, Jakarta.
- Davidovits, J., 1989, Geopolymers and Geopolymeric Materials, *Journal of Thermal Analysis*, 35(2); 429-441.
- Moore, J.W., *Inorganic Contaminant of Surface Water*, Springer Verlag, New York, 1991.
- Palomo, A. and Palacios, M., 2003, Alkali-Activated Cementitious Materials: Alternative Matrices for The Immobilization of Hazardous Wastes Part II. Stabilization of Chromium and Lead, *Cement And Concrete Research*, Vol.33, iss 2, Feb 2003, 289-295.
- Perera, D.S., Aly, D., Vance, E.R., Mizumo, M., 2005, Immobilization of Pb in a Geopolymer Matrix, *J. Am. Ceramic Soc.*, vol 88:9. p.2586-2588.
- Phair, J.W., and van Deventer, J.S.J., 2001, Effect of silica activator pH on the Leaching and Material Characteristic of Waste based Inorganic Polymers, *Minerals Engineering*, Vol 14: 3, March 2001, 289-304.
- Prodjosantosa, A.K. dan Tutik, P., 2005, Solidifikasi Limbah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Semen Portland Sebagai Upaya Penanggulangan Pencemaran Lingkungan, *JPMS*, Juni 2005 (1), 29-35.
- Rowles, M.R., 2004, The Structural Nature of Aluminosilicate Inorganic Polymers: A Macro to Nanoscale Study, *Thesis*, Curtin University.

