

## SOLIDIFIKASI LIMBAH ZEOLIT MENGGUNAKAN TEKNOLOGI KERAMIK

Endro Kismolo, Gede Sutresna Wijaya dan Isman Mulyadi Triatmoko

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN

Jl Babarsari, Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta 55281

email: endrokismolo@gmail.com

### ABSTRAK

*SOLIDIFIKASI LIMBAH ZEOLIT MENGGUNAKAN TEKNOLOGI KERAMIK. Telah dilakukan uji karakterisasi fisis monolit keramik hasil solidifikasi limbah zeolit. Tujuan percobaan ini untuk mengetahui karakteristik fisis monolit keramik pada solidifikasi limbah zeolit. Percobaan dilakukan dengan mencampur lempung, felspar, kaolin, aditif MgO, air dan limbah sorben zeolit pada komposisi bervariasi. Penambahan limbah zeolit divariasikan dari 1,0 sampai 10,0 %, dan ditambahkan aditif MgO divariasikan dari 0,10 % sampai 0,5 % berat, selanjutnya campuran dicetak pada tekanan 5,0 KN. Setelah sampel monolit kering udara, dipanaskan pada suhu 800 sampai 1000 °C selama 60 menit. Selanjutnya dilakukan uji ketahanan tekan dan uji serap air. Dari percobaan diperoleh kesimpulan bahwa kondisi terbaik dicapai pada komposisi keramik 20 % lempung, 30 % felspar, dan 50 % kaolin, penambahan limbah sorben sebanyak 10 % berat, MgO sebanyak 0,20 %, dan temperatur pemanasan 900°C selama 60 menit. Pada kondisi ini diperoleh kualitas monolit keramik limbah yang memenuhi standar produk keramik limbah B3, dengan nilai serap air serap air sebesar 1,145 %, kuat ketahanan tekan 21,825 (ton/m<sup>2</sup>).*

*Kata Kunci : Keramik limbah; sorben zeolit alam ; MgO.*

### ABSTRACT,

*SOLIDIFICATION OF ZEOLITE WASTE BY CERAMIC TECHNOLOGY. Has conducted physical characterization of monolith ceramic from solidification zeolite waste product. The purpose of the experiment was to know the physical characterization of the ceramic monolith on the zeolite waste solidification product. The experiments were performed by mixing the clay, kaoline, feldspar, waste sorbent zeolite, MgO additives and water at a ratio varied. The addition of zeolite waste varied from 1.0 to 10.0%, and added additives MgO varied from 0.10 % to 0.50 % by weight, and the mixture is molded at a pressure of 5.0 KN. After the sample air-dried monolith, heated at a temperature of 800 to 1000°C for 6 minutes. Furthermore, the endurance test and test tap water absorbency. From the experiments we concluded that the best conditions achieved in the ceramic composition are 20 % clay, 30 % feldspar, and 50 % caoline, addition of sorbent waste as much as 10.0 % by weight, MgO as much as 0.20 %, and the heating temperature of 900°C for 60 minutes. In this condition the waste ceramic monoliths obtained quality that meets the standard ceramic products B3 waste, with a value of 1.145 % water absorption, strong resilience press 21.825 tons/m<sup>2</sup>.*

*Keywords: Ceramic wastes; natural zeolite sorbent; MgO*

### PENDAHULUAN

Setelah pemanfaatan karbon aktif untuk proses reduksi limbah B3 cair dirasa tidak kompetitif dan relatif mahal, maka proses sorpsi menggunakan mineral lokal seperti zeolit menjadi pilihan alternatif. Saat ini pemanfaatan zeolit sebagai sorben alam semakin berkembang selaras dengan berkembangnya teknologi sorpsi berbasis bahan alam pada pengelolaan limbah B3 cair, terutama pada proses akhir sebelum dispersi efluen ke lingkungan. Dari data zeolit mampu memberikan efisiensi sorpsi yang baik dan harganya relatif murah. Masalah baru yang timbul dari kegiatan ini adalah timbulnya zeolit bekas (limbah zeolit) setelah digunakan sebagai sorben dan atau penukar ion. Sesuai dengan karakteristiknya, sorben alam

bekas seperti zeolit secara teknis lebih mudah melepas kembali polutan jika dibandingkan dengan sorben atau penukar ion sintetis, hal ini terjadi karena energi ikatan antar atom pada bahan alam lebih rendah jika dibandingkan dengan penukar ion sintetis. Oleh sebab itu agar terjadinya pelindian polutan dari dalam sorben bekas dapat dihindari, maka sorben bekas perlu penanganan lanjut yang sesuai [1, 2].

Zeolit adalah senyawa alam jenis aluminosilikat yang memiliki struktur kerangka tiga dimensi terbentuk oleh tetrahedral  $AlO_4^{5-}$  dan  $SiO_4^{4-}$  dengan rongga di dalamnya terisi ion-ion logam biasanya didominasi logam alkali tanah (Na, K, Mg, Ca dan Fe) dan molekul air yang dapat bergerak bebas dalam struktur rongga. Karena sifat-sifatnya tersebut zeolit banyak dimanfaatkan sebagai sorben

alternatif untuk mereduksi limbah B3 yang terdapat dalam limbah B3 cair. Dibandingkan dengan sorben alam yang lain, zeolit lebih banyak dimanfaatkan selain karena kemudahan dalam preparasi material, juga terhadap tinjauan pengelolaan lanjut pasca penyerapan polutan [3,4,12]. Salah satu pengelolaan lanjut dari limbah sorben bekas adalah dengan proses solidifikasi melalui keramikisasi. Dipilihnya teknologi ini karena bahan pendukung teknologi keramikisasi, selain murah, bahan pembentuk keramik cukup banyak dijumpai di pasar nasional dan terdapat dalam cukup berlimpah [3].

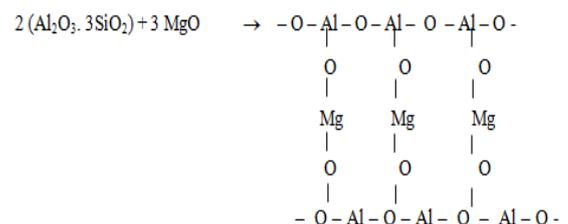
Keramikisasi merupakan teknologi solidifikasi alternatif yang menggunakan bahan pembentuk keramik alamiah yang memiliki daya saing cukup baik dalam aplikasi teknologi solidifikasi limbah B3. Bahan pembentuk keramik dimaksud adalah lempung, felspar, kaolin, dan bahan aditif yang sesuai. Lempung pada umumnya terdiri dari dua struktur lapisan dasar yaitu silika dan alumina dengan rumus molekul  $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$ . Lapisan ini terbentuk dari satu atom silikon yang membentuk struktur tetrahedral dengan empat atom oksigen atau hidroksi. Sifat plastis lempung sebagai basic bahan pembentuk keramik konvensional sangat dipengaruhi oleh kandungan alumunium baik dalam bentuk oksida maupun dalam bentuk senyawa yang lain. Alumina merupakan istilah umum untuk keramik karena oksida alumunium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) merupakan komponen penting dalam pembentukan keramik. Dilihat dari strukturnya, alumina memiliki ikatan antar atom yang menjembatani ion alumunium yang bermuatan positif dengan keenam atom oksigen di sekitarnya, yang memiliki energi ikatan antar atom cukup tinggi [4]. Alumina memiliki struktur atom yang memiliki beberapa fasa kristalin dengan fasa yang paling stabil adalah fasa  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan struktur hexagonal. Oksida alumunium fasa ini merupakan oksida alumunium yang memiliki sifat kaku dan kuat untuk keramik oksida. Sedangkan oksida alumunium dalam bentuk  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  memiliki sifat metastabil yang masih terus dikembangkan melalui percobaan untuk produk bahan katalis, mikroelektronik dan optik. Sedangkan felspar merupakan suatu kelompok mineral batuan beku yang tersusun oleh senyawa alumina silikat yang pada umumnya mengandung satu atau lebih unsur basa seperti kalium, natrium, kalsium dan barium yang salah satunya merupakan kation utama, sehingga formula felspar  $\text{XAl}_{(1-2)}\text{Si}_{(3-2)}\text{O}_8$ . Yang menjadikan felspar sangat bermanfaat adalah kandungan alkali dan aluminanya yang memiliki peran sebagai pelebur (fluk) pada keramik. Dan limbah B3 dalam campuran bahan pembentuk keramik akan terkungkung dalam bodi keramik hasil solidifikasi [4, 5,11]

Dalam hal sifat kungkung, produk keramik

limbah selain memiliki stabilitas dimensi yang cukup tinggi, relatif tahan terhadap keausan mekanis dan memiliki sifat tidak mudah retak. Sehingga keramik limbah hasil solidifikasi dengan memanfaatkan teknologi keramik dan memanfaatkan aditif yang sesuai misalnya magnesium aluminat akan menghasilkan keramik limbah yang diyakini mampu mengungkung limbah B3 dengan karakteristik serap air dan pelindian yang rendah [4,6]. Sedangkan pada solidifikasi limbah B3 akan dihasilkan keramik limbah B3 yang dibuat dengan mencampur bahan pembentuk keramik dan limbah [7,8].

Pada keramikisasi limbah zeolit yang terkontaminasi B3, proses pembentukan keramik terutama terhadap efek plastisitas keramik yang diperoleh akan terganggu. Untuk meningkatkan karakteristik lempung sebagai material pembentuk keramik dalam pembuatan keramik limbah zeolit, dapat dilakukan penambahan bahan aditif misalnya senyawa magnesita dan silikat dalam bentuk oksida atau magnesium aluminat sebagai *spinel agent*. Spinel dalam bentuk demikian pada umumnya memiliki sifat refraktori, mekanis, elektrik, dan sifat kimia lebih baik dibandingkan dalam bentuk oksida alumunium alam atau bahkan dalam bentuk alumina murni. Sedangkan oksida silika pada proses dekomposisi lempung akan mengisi pori yang terjadi, sehingga keramik yang terjadi monolitas kemampatannya akan naik [6].

Mekanisme pembentukan spinel magnesita aluminat (Gambar 1) dikemukakan oleh Yamamura *et al* yang disadur oleh Sri Cicih Kurniasih (2005) [9], sebagai berikut:



**Gambar 1.** Mekanisme pembentukan spinel magnesium aluminat

Berbeda dengan percobaan yang sudah pernah dilakukan [7], dimana beban maksimum penambahan limbah sebesar 15,0 %, pada percobaan ini lebih ditekankan pada pengaruh mineral sejenis (zeolit) dalam bentuk zeolit bekas hasil proses sorpsi limbah zirkonium terhadap karakteristik fisis monolit keramik limbah hasil solidifikasi pada berbagai komposisi bahan pembentuk keramik. Komposisi bahan pembentuk keramik (lempung, kaolin dan felspar), aditif magnesium oksida dan beban limbah zeolit di variasi pada berbagai perbandingan. Melalui percobaan ini diharapkan

dapat diperoleh data karakteristik fisis keramik limbah (ketahanan tekan dan uji serap air) untuk pengembangan teknologi solidifikasi limbah sorben yang efektif, murah dan bersifat final, serta dapat dilakukan pemenuhan terhadap regulasi dalam hal pengelolaan limbah B3 secara umum.

## TATA KERJA

### Bahan

Pada percobaan ini digunakan lempung dari daerah Kasongan, felspar, kaolin dan aditif MgO teknis, serta akuades sebagai perekat bahan pembentuk keramik, dan untuk uji serap air.

### Peralatan

Perangkat penggerus untuk preparasi lempung dan zeolit, ayakan getar digunakan untuk mendapatkan homogenitas campuran bahan pembentuk keramik dan untuk mendapatkan ukuran butir yang sesuai. Alat tekan Paul Webber digunakan untuk pembuatan benda uji berbentuk silinder dengan cetakan (*molding*) baja silinder dan uji ketahanan tekan. *Furnace* digunakan untuk memanaskan benda uji. Sedangkan uji serap air digunakan piranti gelas dan neraca analitis.

## METODE

### Preparasi bahan pembentuk keramik

Lempung kering udara dari daerah Kasongan dihancurkan dengan perangkat penggerus berupa lumpang besi sampai hancur, selanjutnya diayak menggunakan pengayak getar sehingga diperoleh serbuk lempung dengan ukuran butir (-80+100) mesh. Serbuk lempung dipanaskan dalam furnace pada temperatur 90 °C selama 60 menit sehingga kadar airnya sekitar 1,0 %, demikian juga serbuk limbah zeolit.

### Pembuatan sampel monolit keramik

- Diambil serbuk lempung, felspar, kaolin yang telah digerus (-80+100) mesh, dengan perbandingan berat 15 % lempung, 25 % felspar, dan 60 % kaolin. Ketiga bahan tersebut dimasukkan ke dalam gelas beaker, diaduk dengan pengaduk listrik sampai homogen, dan ditambahkan perekat air sebanyak 3,0 %, diaduk sampai terbentuk adonan yang homogen. Adonan yang diperoleh dicetak dengan perangkat cetak (diameter 1,50 cm dan tinggi 1,50 cm) pada tekanan 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- Monolit hasil pencetakan diangin-anginkan pada suhu kamar hingga kering. Monolit mentah yang telah kering kemudian dipanaskan pada suhu 800°C selama 120 menit.
- Dengan cara yang sama (a,b), dibuat campuran serbuk lempung, felspar, kaolin yang telah

digerus (-80+100) mesh, dengan perbandingan berat 20 % lempung, 30 % felspar, dan 50 % kaolin, dan 30 % lempung, 40 % felspar, dan 30 % kaolin.

- Dengan cara yang sama (a,b,c), kedalamnya ditambahkan serbuk limbah zeolit ke dalam adonan sebanyak masing-masing 2,5 % sampai 15,0 % berat, dan MgO sebanyak 0,1 sampai 0,5 %.
- Benda uji setelah kering udara, dipanaskan pada suhu 900 dan 1000°C selama 60 menit.
- Setelah proses pendinginan, dilakukan uji serap air dan kuat ketahanan tekan.
- Uji serap air dilakukan dengan mengukur berat sampel sebelum dan setelah perendaman dalam air selama 30 hari.
- Uji ketahanan tekan dilakukan dengan perangkat tekan Paul Webber.
- Sampel terbaik diuji perendaman dalam air laut selama 30 hari.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Percobaan penentuan komposisi mineral pembentuk keramik limbah zeolit.

**Tabel 1.** Penentuan komposisi bahan pembentuk keramik limbah zeolit.

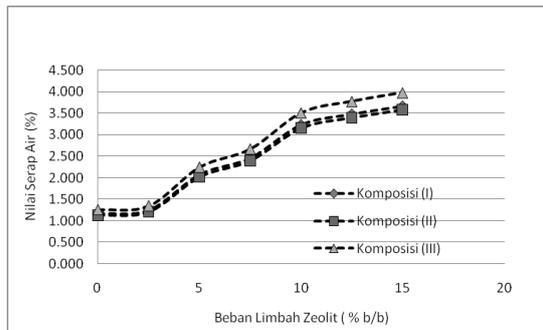
No	Kode Sampel	Komposisi mineral keramik (% berat)			Limbah Zeolit (% Berat)
		Lempung	Felspar	Kaolin	
Sampel I					
1.	A	15	25	60	0,00
2.	B	15	25	60	2,50
3.	C	15	25	60	5,00
4.	D	15	25	60	7,50
5.	E	15	25	60	10,00
6.	F	15	25	60	12,50
7.	G	15	25	60	15,00
Sampel II					
1.	A	20	30	50	0,00
2.	B	20	30	50	2,50
3.	C	20	30	50	5,00
4.	D	20	30	50	7,50
5.	E	20	30	50	10,00
6.	F	20	30	50	12,50
7.	G	20	30	50	15,00
Sampel III					
1.	A	30	40	30	0,00
2.	B	30	40	30	2,50
3.	C	30	40	30	5,00
4.	D	30	40	30	7,50
5.	E	30	40	30	10,00
6.	F	30	40	30	12,50
7.	G	30	40	30	15,00

Percobaan penentuan komposisi bahan pembentuk keramik dan komposisi limbah zeolit

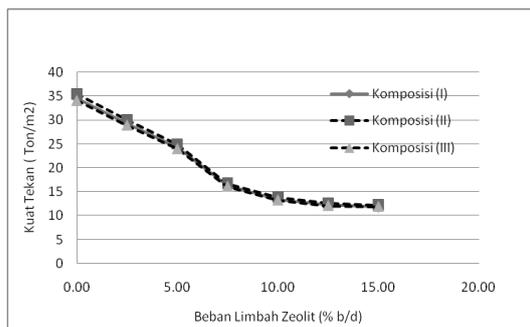
dapat dilihat pada Tabel 1. Perbandingan campuran antara lempung, feldspar, kaolin divariasi dengan basis awal sesuai hasil percobaan terdahulu [10], sedangkan variasi beban limbah zeolit divariasi sampai 15,00 % berat total monolit, dan MgO sebesar 0,1 %.

## 2. Pengaruh penambahan limbah zeolit terhadap karakteristik monolit keramik limbah yang dihasilkan.

Pengaruh penambahan limbah zeolit terhadap karakteristik fisis monolit keramik limbah yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar Grafik 2 dan Grafik 3.



**Gambar 2.** Grafik hubungan antara penambahan limbah zeolit terhadap karakteristik sifat serap air monolit keramik limbah, pada kondisi berbagai komposisi bahan pembentuk keramik, pemanasan 800°C selama 60 menit, dan penambahan aditif MgO 0,1 %



**Gambar 3.** Grafik hubungan antara penambahan limbah zeolit terhadap karakteristik kuat ketahanan tekan monolit keramik limbah, pada kondisi berbagai komposisi bahan pembentuk keramik, pemanasan 800°C selama 60 menit, dan penambahan aditif MgO 0,1 %

Dari parameter yang diuji, penambahan limbah zeolit sangat berpengaruh terhadap karakteristik monolit keramik yang dihasilkan, baik terhadap sampel I, II dan III. Untuk Sampel I, II dan III, nilai sifat serap air monolit yang dihasilkan untuk komposisi pembentuk keramik yang sama, maka penambahan limbah B3 yang semakin banyak

mengakibatkan nilai sifat serap air dari monolit keramik limbah juga semakin besar. Sejalan dengan percobaan terdahulu [10], hal ini terjadi karena semakin banyak limbah zeolit yang ditambahkan ke dalam bodi keramik menyebabkan terbentuknya pori monolit yang semakin banyak.

Selanjutnya dengan terbentuknya monolit keramik yang semakin banyak menjadikan porositas monolit semakin besar, sehingga monolit keramik akan memiliki sifat serap terhadap air yang semakin besar.

Terhadap karakteristik kuat ketahanan tekan, untuk Sampel I, II dan III menunjukkan bahwa semakin banyak limbah zeolit yang ditambahkan ke matrik keramik, nilai kuat ketahanan tekan monolit keramik yang diperoleh semakin rendah. Sejalan dengan yang telah dijelaskan di atas bahwa peningkatan penambahan limbah zeolit ke dalam matrik keramik menyebabkan porositas monolit yang semakin besar. Selain faktor ikatan kimia matrik keramik hasil dekomposisi, maka faktor peningkatan porositas dapat menyebabkan nilai ketahanan tekan monolit keramik limbah menjadi semakin menurun.

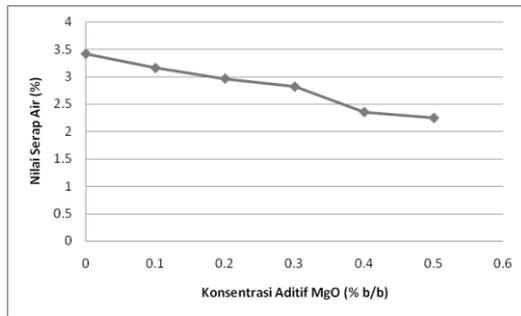
Dari percobaan diperoleh data bahwa untuk komposisi I, II, dan III memberikan karakteristik monolit yang mirip, terhadap nilai serap air dan ketahanan tekan yang diperoleh perbedaannya tidak signifikan. Untuk penambahan aditif MgO sebesar 0,1 %, penambahan limbah zeolit maksimum adalah sebesar 7,5 %. Pada kondisi ini diperoleh monolit keramik limbah yang memiliki sifat serap air lebih kecil dari 3,0 % dan memiliki kuat ketahanan tekan di atas 10 (ton/ m<sup>2</sup>).

## 3. Pengaruh penambahan aditif MgO terhadap karakteristik monolit keramik limbah

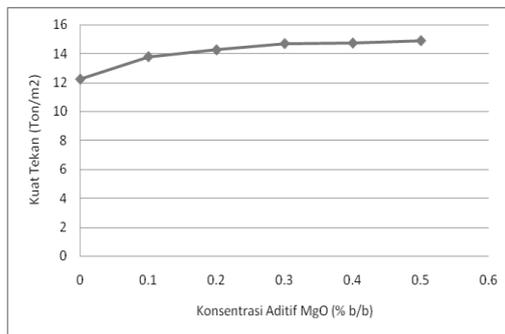
Pengaruh penambahan aditif MgO terhadap karakteristik monolit keramik limbah dapat dilihat pada Gambar Grafik 4 dan Grafik 5.

Pada temperatur pemanasan sebesar 800°C dengan waktu penahanan selama 60 menit, diperoleh data bahwa pada komposisi penambah limbah zeolit yang sama, penambahan MgO mampu memperbaiki kualitas keramik limbah yang diperoleh. Hal ini ditunjukkan oleh data yang menunjukkan bahwa penambahan MgO mampu menurunkan sifat serap air monolit keramik limbah. Pada penambahan 0,2 % aditif MgO telah mampu menghasilkan monolit keramik limbah dengan sifat serap air lebih kecil dari 3,0 % yaitu sebesar 2,964 %, dan memiliki kuat ketahanan tekan di atas 10 (ton/ m<sup>2</sup>), yaitu sebesar 14,252 (ton/ m<sup>2</sup>). Data ini menunjukkan bahwa pada pemanasan 800 °C proses dekomposisi mineral telah terjadi dengan baik, dan MgO telah membentuk spinel dengan aluminat

membentuk magnesium aluminat yang mampu menambah monolitas hasil proses dekomposisi. Sehingga kualitas monolit keramik limbah yang diperoleh menjadi semakin baik yang ditandai turunnya nilai sifat serap air dan naiknya nilai ketahanan tekan.



**Gambar 4.** Grafik hubungan pengaruh penambahan aditif MgO terhadap karakteristik nilai serap air monolit keramik limbah komposisi (II) pada kondisi penambahan limbah zeolit sebanyak 10,0 %, temperatur pemanasan 800 °C selama 60 menit.



**Gambar 5.** Grafik hubungan pengaruh penambahan aditif MgO terhadap karakteristik kuat ketahanan tekan monolit keramik limbah komposisi (II) pada kondisi penambahan limbah zeolit sebanyak 10,0 %, temperatur pemanasan 800°C selama 60 menit.

#### 4. Pengaruh pemanasan terhadap karakteristik monolit keramik limbah.

Hasil percobaan pengaruh temperatur pemanasan terhadap karakteristik monolit keramik limbah dapat dilihat pada Tabel 2. Dari percobaan diperoleh informasi bahwa temperatur pemanasan berpengaruh secara signifikan terhadap karakteristi keramik limbah yang dihasilkan. Temperatur pemanasan pada proses dekomposisi pembentukan keramik yang semakin tinggi menyebabkan karakteristik monolit keramik limbah yang semakin baik. Karakteristik monolit keramik limbah yang

semkin baik ditandai dengan rendahnya nilai serap air dan tingginya kuat ketahanan tekan.

**Tabel. 2.** Data pengaruh temperatur pemanasan terhadap kualitas monolit keramik limbah pada kondisi penambahan lumpur limbah Pb 10,0 %, aditif MgO sebanyak 0,20 % waktu pemanasan selama 60 menit.

No	Temperatur Pemanasan (°C)	Karakteristik monolit keramik limbah	
		Sifat serap air (%)	Ketahanan tekan (ton/ m <sup>2</sup> )
1.	800	2,964	14,252
2.	900	1,145	21,825
3.	1000	1,016	24,426

Semakin tinggi temperatur pemanasan dekomposisi keramik dan adanya aditif MgO, diduga mampu menyempurnakan terjadinya proses dekomposisi dan proses peleburan bahan pembentuk keramik. Sehingga monolit keramik yang terbentuk memiliki pori monolit yang semakin kecil. Dampak dari proses dekomposisi dan peleburan mineral pembentuk keramik yang semakin baik menyebabkan monolit keramiklimbah yang dihasilkan memiliki nilai serap air yang rendah, serta memiliki kuat ketahanan tekan yang tinggi. Karakteristik ini dapat dicapai pada kondisi jumlah pori yang terbentuk atau porositas monolit yang rendah. Dampak dari terbentuknya pori monolit keramik yang rendah akan menyebabkan nilai porositas yang rendah. Dan kondisi yang demikian menyebabkan monolit keramik yang terbentuk memiliki nilai sifat serap air yang rendah dan kuat ketahanan tekan yang tinggi. Meskipun tidak dilakukan pengujian, selain karakteristik fisis, maka kondisi monolit keramik limbah yang demikian akan memberikan nilai pelindian yang rendah pula.

#### 5. Uji perendaman sampel dalam air laut

Uji perendaman sampel monolit keramik limbah dalam air laut, dapat dilihat pada Tabel 3. Dari percobaan uji perendaman dalam air laut terhadap sampel terbaik, diperoleh data bahwa monolit keramik limbah sedikit mengalami kerusakan akibat perendaman dalam air laut.

Kerusakan terutama pada bagian permukaan monolit yang mengalami gradasi fisik secara tidak merata. Sehingga perlu pengkajian lebih lanjut terhadap kemungkinan pemanggunaan aditif yang sesuai agar monolit keramik limbah yang diperoleh lebih tahan terhadap lingkungan.

Dari percobaan diperoleh data bahwa proses dekomposisi pada suhu 900°C cukup baik untuk membentuk monolit keramik limbah. Pada suhu 900°C, terhadap monolit keramik limbah memiliki

nilai serap air sebesar 1,145 %, kuat ketahanan tekan 21,825 (ton/ m<sup>2</sup>). Berdasarkan ketentuan yang berlaku untuk hasil solidifikasi limbah B3, maka monolit keramik limbah zeolit terkontaminasi limbah zirkon yang dihasilkan memberikan nilai serap air di bawah 3,0 %, kuat ketahanan tekan di atas 10 ton/m<sup>2</sup>.

**Tabel 3.** Data pengaruh perendaman sampel monolit keramik limbah dalam air laut, pada kondisi kondisi penambahan limbah zeolit sebanyak 10,0%, aditif MgO 0,20%, dan temperatur pemanasan 900°C selama 60 menit.

No	Waktu perendaman (hari)	Karakteristik monolit keramik limbah	
		Sifat serap air (%)	Ketahanan tekan (ton/ m <sup>2</sup> )
1.	0	1,145	21,825
2.	10	1,754	20,045
3.	20	1,904	19,843
4.	30	1,922	19,668

## KESIMPULAN

Dari data yang diperoleh dapat diambil kesimpulan bahwa monolit keramik limbah zeolit terbaik dicapai pada komposisi keramik 20 % lempung, 30 % felspar, dan 50 % kaolin, beban (penambahan) limbah zeolit terkontaminasi limbah zirkon sebanyak 10,0 %, aditif MgO sebanyak 0,20 %, temperatur pemanasan 900 °C, waktu penahanan pemanasan selama 60 menit. Pada kondisi ini monolit keramik limbah zeolit yang dihasilkan memiliki karakteristik nilai serap air sebesar 1,145%, kuat ketahanan tekan 21,825 (ton/ m<sup>2</sup>). Berdasarkan ketentuan yang berlaku untuk hasil solidifikasi limbah B3, maka monolit keramik limbah yang dihasilkan cukup baik karena memberikan nilai serap air di bawah 3,0%, kuat ketahanan tekan di atas 10 ton/m<sup>2</sup>.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam kegiatan percobaan dan penulisan artikel ini. Percobaan ini merupakan bagian dari kegiatan pengembangan dan pengumpulan data pada optimasi sistem filtrasi efluen pada perancangan unit elektrokoagulasi. Kegiatan ini dibiayai dengan anggaran DIPA PSTA - Batan, tahun 2014.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. Kep 03/ BAPEDAL/09/1995, tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, 1995.

2. TECHNICAL REPORT SERIES, NO. 89, *Chemical Treatment of Radioactive Waste*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1990.
3. Hanan S., dkk, *Application of Zeolite Prepared from Egyptian Kaolin for the Removal of Heavy Metals: Isotherm models*, Journal of Hazardous Materials, 2010.
4. Hartono, J.M.V, *Teori Pembakaran, Informasi Teknologi Keramik dan Gelas*, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Industri Keramik, Bandung, 1991.
5. Meylia Kharisma P.S., dkk, *Substitusi Felspar Banjarnegara Oleh Felspar Sukabumi Pada Pembuatan Bodi Isolator*. Prosiding Seminar Nasional Keramik VI, Pemasarakatan Hasil-Hasil Riset Teknologi Keramik Untuk Kemitraan Dalam Mendukung Pengembangan Industri, ISSN 1693-7163, 2007.
6. Sri Cicih Kurniasih, dkk, *Semen Spinel Magnesium Aluminat Untuk Perekat Keramik Suhu Tinggi*. Prosiding Seminar Nasional Keramik VI, Pemasarakatan Hasil-Hasil Riset Teknologi Keramik untuk Kemitraan Dalam Mendukung Pengembangan Industri, ISSN 1693-7163
7. COLM, MC.JJ, *Ceramic Science for Material Technology*, Leonard Hill, London, 1983.
8. Maczura G and Everst J.A, *Annual Ceramic Mineral resources*, Ceramic Buletin, Vol 62-5, 1983.
9. Sri Cicih Kurniasih, dkk, *Penambahan Spinel Terhadap Sifat fungsional Keramik Alumina*, Prosiding Seminar Nasional Keramik IV, "Hasil-Hasil Litbang Keramik Dalam Mendukung Perkembangan Teknologi, ISSN 1693-7163
10. Endro K, dkk, *Solidifikasi dan Karakterisasi Lumpur Limbah Pb*, Prosiding Seminar PPI-PDIPTN, PSTA-BATAN, Yogyakarta, 2014.
11. Meda Sagala, *Perubahan Fisika-Kimia dan Mineral pada Pembakaran Lempung*, Informasi Teknologi Keramik dan Gelas, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Industri Keramik, Bandung, 2000.
12. Vesna Racik, dkk, *The Adsorption of salicylic acid, acetylsalicylic acid and atenolol from aqueous solutions onto natural zeolites and clay: Clinoptilolite, bentonite and kaolin*, Journal Microporous and Mesoporous Materials, 2012.

---

**TANYA JAWAB****Ossama Ruzieka**

- Potensi keramik apa hanya disimpan atau komersialisasi antar industri?
- Variasi bentukan (*output*) keramik apakah ada bedanya?

**Endro Kismolo**

- *Dalam solidifikasi limbah radioaktif, memang monolit keramik limbah yang dihasilkan untuk di simpan sampai tingkat radioaktifitasnya alamiah. Sedangkan untuk monolit keramik limbah B3 dapat di aplikasikan untuk bagian struktur bangunan.*
- *Bentuk keramik dapat di buat sesuai dengan kebutuhan akhir yang di kehendaki (bisa silinder atau cubic).*

**Mukh Syaifudin**

- Bagaimana hasil uji perendaman keramik dalam laut?

**Endro Kismolo**

- *Terhadap uji perendaman dalam air laut selama 30 hari menunjukkan adanya abrasi monolit pada permukaan body keramik, sehingga karakteristik nilai serap airnya agak naik dan nilai ketahanan tekannya sedikit turun.*

**M. Nasrullah**

- Kesimpulan dari penelitian ini berupa keramik yang memanfaatkan limbah zeolit yang masih sesuai dengan peraturan yang ada. Namun untuk lebih baik kajian tekno ekonomi dilakukan agar dapat kompetitif di bandingkan dengan keramik yang lain. Agar dapat di manfaatkan industri keramik ke depannya.

**Endro Kismolo**

- *Setuju, akan di kawal terus dari kajian tekno ekonominya sehingga menjadi bermanfaat bagi industri dalam mengelola limbah radioaktif B3.*