

PENINGKATAN KUALITAS LEMPUNG KASONGAN UNTUK IMMOBILISASI LIMBAH LUMPUR HASIL PROSES ELEKTROKOAGULASI

Endro Kismolo, Gede Sutresna Wijaya

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB Yogyakarta

Email : endrokismolo@gmail.com, gedews@batan.go.id

ABSTRAK

PENINGKATAN KUALITAS LEMPUNG KASONGAN UNTUK IMMOBILISASI LIMBAH LUMPUR HASIL PROSES ELEKTROKOAGULASI. Telah dilakukan penelitian peningkatan kualitas lempung alam dari kasongan sebagai bahan dasar pembentuk keramik fungsional dengan teknik “dopping reinforced”. Modifikasi lempung dilakukan dengan menambah MgO dan SiO₂ pada campuran lempung dan lumpur limbah proses elektrokoagulasi yang mengandung logam Cr pada komposisi tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan pada suhu 800 sampai 1100 °C dengan penahanan pemanasan selama 30 – 180 menit. Karakterisasi yang dilakukan meliputi sifat fisis mekanis dan sifat kimia. Hasil modifikasi lempung yang mengandung limbah 15,0 % memiliki karakteristik : penyerapan air 2,004 %, kuat tekan 17,51 Ton/m² dan konsentrasi khrom dalam air lindi adalah 0,114 ppm atau dengan nilai laju lindi sebesar 0,116 x 10⁻³ gr/cm²/hari.

Kata Kunci : Keramik limbah B3, modifikasi, sifat fisika dan sifat kimia.

ABSTRACT

IMPROVEMENT THE QUALITY OF KASONGAN CLAY FOR FOR IMMOBILIZATION SLUDGE OF WASTE FROM ELEKTROCOAGULATION PROCEES. The quality of the natural clay from Kasongan as raw material forming functional ceramics can be improved by dopping technique reinforced has been done. Modification of clay was done by adding MgO and SiO₂ in the mixture of clay and hazardous sludge waste from electrocoagulation process to conatin of Cr at a particular composition, further heating at 1100 °C with heating detention for 30 - 180 minutes. The characterization was conducted on the physical properties of mechanical and chemical properties. The result of clay modification with 15.0% of waste contain have characteristics: 2.004 % water absorption, compressive strength 17.51 Ton/m² and the Cr concentration in leachate at a rate of 0.114 ppm or leaching rate value are 0.116 x 10⁻³ gr/ cm²/day.

Key Words : B3 waste ceramics, modification, physical and chemical properties.

PENDAHULUAN

Endapan hasil pengolahan kimia dan konsentrasi hasil proses evaporasi limbah radioaktif dan limbah B3 perlu dilakukan pengelolaan yang tepat agar tidak mencemari lingkungan. Salah satu metode pengelolaan limbah tersebut adalah dengan metode immobilisasi. Metode immobilisasi yang akan banyak dikembangkan akhir-akhir ini adalah dengan metode keramikisasi, dan bahan pembentuk keramik konvensional yang sering digunakan dalam pembentukan keramik limbah diambil dari lempung, dan pada penelitian ini dicoba menggunakan lempung dari Kasongan. Kegiatan ini dilaksanakan dalam rangka peningkatan metode dan teknis pengelolaan limbah radioaktif dan limbah B3 yang ada di PTAPB khususnya dan BATAN pada umumnya. Lempung Kasongan termasuk lempung alam yang pada skala industri kecil dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembentuk keramik konvensional, karena lempung kasongan dikenal memiliki keplastisan yang cukup baik

sehingga mudah dibentuk. Pada dasarnya plastisitas lempung sangat dipengaruhi oleh kandungan aluminium dalam lempung baik dalam bentuk oksida maupun dalam bentuk senyawa yang lain, sehingga juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembentuk keramik limbah. Keramik limbah adalah istilah keramik yang dibuat dengan mencampur bahan pembentuk keramik dan limbah, sedangkan alumina merupakan istilah umum untuk keramik karena oksida aluminium (Al₂O₃) merupakan komponen penting dalam pembentukan keramik. Ditinjau dari strukturnya, alumina memiliki ikatan antar atom yang menjembatani ion aluminium yang bermuatan positif dengan keenam atom oksigen di sekitarnya, yang memiliki energi ikatan antar atom cukup tinggi⁽¹⁾. Dalam kondisi demikian alumina memiliki struktur atom yang memiliki beberapa fasa kristalin dengan fasa yang paling stabil adalah fasa α-Al₂O₃ dengan struktur hexagonal. Oksida aluminium fasa ini merupakan oksida aluminium yang memiliki sifat kaku dan kuat untuk keramik oksida. Sedangkan oksida

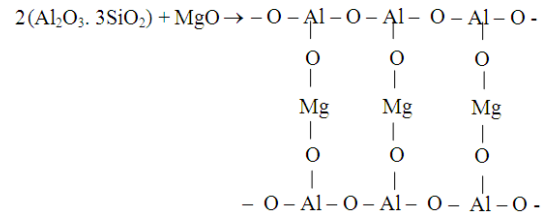
aluminium dalam bentuk $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki sifat metastabil yang masih terus dikembangkan melalui penelitian, dan banyak diarahkan untuk memperbaiki produk bahan katalis, mikroelektronik dan optik^(1,2,11,12).

Sama halnya pada proses industri keramik maju yang dituntut menggunakan keramik dengan kemurnian tinggi, maka karakteristik lempung alam sebagai bahan pembentuk keramik konvensional juga dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan aditif tertentu ke dalamnya. Pada pembuatan keramik limbah yang mengandung logam berbahaya (Cr), logam berat tersebut tidak dapat bersifat sebagai aditif dalam pembentukan keramik terutama terhadap efek plastisitas dan penurunan titik lebur meskipun logam tersebut melebur pada kisaran peleburan alumina. Untuk meningkatkan karakteristik lempung sebagai material pembentuk keramik dalam pembuatan keramik limbah yang mengandung logam Cr, dapat dilakukan dengan teknik *dopping reinforced* dengan penambahan bahan aditif lain misalnya senyawa magnesia dan silikat teknis dalam bentuk oksida sebagai campuran *spinel agent*^(2,3).

Spine agent dalam bentuk oksida magnesium atau dalam bentuk magnesia aluminat merupakan salah satu struktur kristal mineral gabungan dari alumina dan magnesia dalam bentuk magnesium aluminat atau magnesium oksida pada komposisi tertentu yang dapat digunakan untuk *dopping agent*. Spinel dalam bentuk demikian pada umumnya memiliki sifat refraktori, mekanis, elektrik, dan sifat kimia lebih baik dibandingkan dalam bentuk oksida aluminium 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^(2,5).

Pada penelitian ini dicoba dilakukan model modifikasi peningkatan karakteristik bahan pembentuk keramik limbah B3 dengan bahan lempung dari daerah Kasongan dengan *spinel agent* magnesium oksida dan SiO_2 teknis sebagai aditif, dan limbah yang dipadatkan diambil dari limbah lumpur dari proses elektrokoagulasi yang mengandung logam khrom. Diharapkan dengan terbentuknya *spinel magnesia alumina* dalam pembentukan keramik, diharapkan diperoleh keramik limbah B3 yang memiliki sifat fisika dan sifat kimia yang lebih baik. Sifat-sifat fisika produk keramik limbah B3 tersebut diantaranya adalah memiliki sifat susut yang relatif rendah, sifat lentur dan ketahanan tekannya tinggi, memiliki ketahanan terhadap perubahan panas, baik pemanasan menerus maupun pemanasan sesaat. Selain itu produk keramik limbah B3 dimaksud diantaranya adalah memiliki ketahanan terhadap pelindian yang

cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh lempung yang di dalamnya mengandung oksida aluminium dengan penambahan spinel magnesium aluminat atau magnesium oksida diduga akan memiliki struktur ruang yang lebih lebar sehingga dapat mempertahankan kestabilan struktur ikatan dalam kristal. Mekanisme pembentukan spinel magnesia aluminat dikemukakan oleh Kurniasih, SC⁽⁵⁾ sesuai dengan yang disadur oleh Retno S⁽⁶⁾, sebagai berikut :



Pada pembuatan keramik limbah B3, kestabilan oksida aluminium terhadap penetrasi terus mutlak dikembangkan karena keramik limbah berbasis bahan alam^(7,12). Dengan menambahkan senyawa magnesia baik dalam bentuk oksida atau dalam bentuk aluminat ke dalam bahan pembentuk keramik lempung seperti halnya lempung dari Kasongan yang di dalamnya juga mengandung oksida aluminium, diharapkan dapat diperoleh karakteristik keramik limbah B3 yang mengandung logam khrom yang memenuhi ketentuan keramik limbah yang ditentukan dengan mengukur nilai susut, nilai kekuatan mekanis dan kemampuan mengungkung/ mengisolasi terhadap limbah. Penelitian pembuatan keramik limbah B3 yang mengandung logam berat khrom yang telah dilakukan oleh Endro K, DKK⁽⁷⁾, memberikan data bahwa karakteristik produk keramik limbah masih harus ditingkatkan diantaranya dengan menambahkan *spinel agent* dan penerapan pada lempung yang lain. Indikator pengaruh penambahan *spinel agent* dalam pembentukan keramik limbah dilihat dari karakteristik nilai ketahanan tekan, nilai serap air, dan karakteristik pelindahannya. Suatu keramik limbah dinyatakan memenuhi kualitas aman apabila memiliki ketahanan tekan minimal 10 ton/m^2 , nilai serap air minimal 3,0 % dan uji pelindian tergantung logam berat yang ada di dalam limbah. Penambahan *spinel agent* ini, diharapkan mampu meningkatkan kualitas keramik limbah yang dihasilkan yaitu mampu meningkatkan nilai ketahanan tekan, nilai serap air dan menurunkan nilai pelindian logam berat yang ada dalam limbah^(5,7,8).

Dalam pembentukan keramik limbah B3, logam berat dalam limbah diduga akan terdispersi keseluruhan pori monolit sehingga pada produk akhir akan memberikan warna terhadap produk keramik dimana warna yang muncul tergantung konsentrasi logam berat dan suhu pembentukan keramik yang

dilakukan menjadi lebih rendah. Dengan peningkatan karakteristik produk keramik limbah tersebut diharapkan diperoleh pemenuhan terhadap peraturan pengelolaan limbah B3 berbahaya yang menurut *United States Enviromental Protection Agency (USEPA)*, logam Cr yang termasuk salah satu logam berat berlabel "hazardous". Sedangkan menurut SK Menteri Negara KLH No. 03/Men KLH/II/1991⁽⁹⁾, dan atau Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03/BAPEDAL/09/1995⁽¹⁰⁾, konsentrasi maksimum kadar Cr diperbolehkan dalam limbah B3 cair adalah sebesar 0,1 mg/liter. Melalui kegiatan penelitian ini diharapkan diperoleh data kemampuan aditif magnesium oksida dan SiO₂ teknis sebagai aditif dalam meningkatkan kualitas lempung sebagai bahan pembentuk keramik yang diaplikasikan untuk immobilisasi limbah B3 yang mengandung logam Cr, dan lebih jauh dapat diterapkan untuk immobilisasi limbah radioaktif.^(9,10)

TATA KERJA

Bahan yang digunakan

Bahan utama pada penelitian ini adalah lempung dari daerah Kasongan, sedangkan imbah Cr diambil dari serbuk hasil pengeringan proses elektrokoagulasi limbah Cr (serbuk lumpur limbah yang mengandung logam Cr 23,525 mg/ 100 g = 23,525 % b/b limbah), sedangkan aditif *spinel agent* digunakan magnesium oksida dan SiO₂ teknis ex Brataco.

Peralatan yang digunakan

Perangkat penghancur dan ayakan getar digunakan untuk mendapatkan homogenitas campuran bahan pembentuk keramik dan untuk mendapatkan ukuran butir yang sesuai. Perangkat tekan digunakan untuk pembuatan benda uji berbentuk bulat dengan cetakan (molding) baja silinder, sedangkan untuk karakterisasi hasil proses pelindian digunakan perangkat analisis AAS "Atomic Absorption Spectrophotometer".

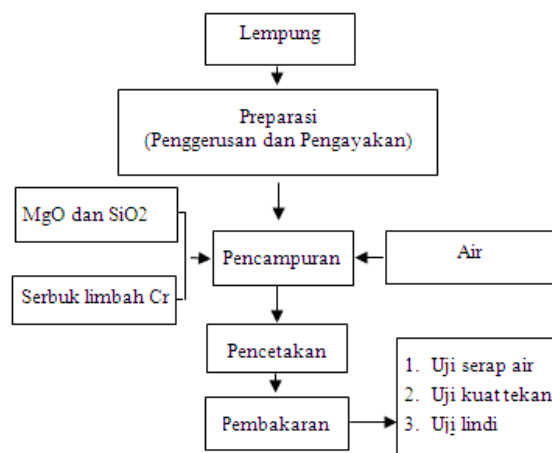
Cara Kerja

Tahapan kerja penelitian

Langkah kerja dapat dilihat pada skema Tahapan Kerja Penelitian.

Preparasi bahan keramik

Lempung aval industri gerabah kering udara dihancurkan dengan lumpang besi sampai hancur, selanjutnya diayak menggunakan pengayak getar, sehingga diperoleh serbuk lempung dengan ukuran butir (-80+100) mesh. Serbuk lumpur limbah yang mengandung logam Cr 23,525 mg/ 100 g = 23,525 % b/b limbah)



Pembuatan sampel monolit keramik

- Ditimbang sebanyak 15,00 gram serbuk lempung dalam cawan porselain, ke dalamnya di tambah 1,5 ml air sebagai perekat, campuran diaduk sampai rata
- Sampel dimasukkan ke dalam alat pencetak (diameter = 1,50 cm), selanjutnya ditekan dengan perangkat tekan pada tekanan 50 kN.
- Sampel diambil dan setelah dikeringkan (suhu kamar), dipanaskan dalam furnase pada suhu 1100 °C selama 30 menit.
- Dengan cara yang sama (a sampai c), ke dalam sampel ditambahkan serbuk limbah Cr sebanyak 5,0, 10, 15, 20, 25, 30 dan 35 % berat total bahan.
- Dengan cara yang sama (a sampai d), ke dalam sampel ditambahkan MgO dan SiO₂ sebanyak 1,0 % berat total bahan.
- Dengan cara yang sama (a sampai e), dilakukan variasi waktu pemanasan (waktu penahanan pemanasan) sampel selama 30, 60, 90,120, 150 dan 180 menit.

Uji serap air

Sampel monolit keramik dimasukkan ke dalam gelas beker 100 ml yang berisi air, setelah 24 jam sampel monolit keramik diambil, dikeringkan pada suhu kamar, dan selanjutnya dilakukan penimbangan terhadap sampel monolit keramik untuk mengetahui sifat serap air monolit keramik.

Uji kuat tekan

Sampel monolit keramik dibungkus plastik, diletakkan pada plat perangkat uji tekan, dan ditekan sampai sampel monolit keramik mengalami retak dan nilai penunjukan tekanan mulai menurun sebagai nilai kemampuan tekan monolit keramik.

Uji lindi

Sebanyak 10 gram sampel monolit keramik dalam bentuk serbuk 100 mesh dimasukkan dalam gelas beker berisi akuades, digojog dengan perangkat penggojog selama 18 jam. Sampel didiamkan untuk direndam selama 90 hari, dan kadar Cr yang terlindi dalam media ditentukan dengan perangkat AAS "Atomic Absorption Spectrophotometer".

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh beban limbah terhadap karakteristik serap air monolit keramik limbah.

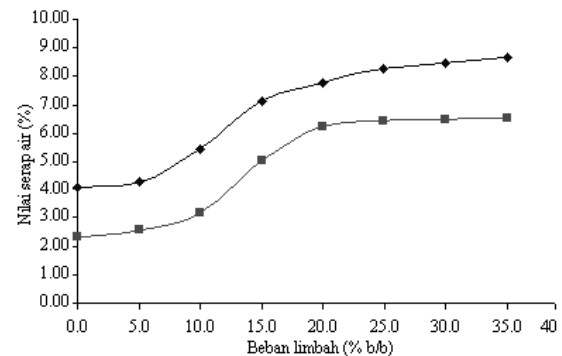
Hasil penelitian mengenai pengaruh beban limbah terhadap karakteristik sifat serap air, ketahanan tekan dan karakteristik pelindian monolit keramik limbah dapat dilihat pada Gambar 1, 2 dan 3. Dari Gambar 1, 2 dan 3 dapat dilihat bahwa kualitas monolit keramik limbah semakin menurun dengan adanya meningkatnya penambahan limbah Cr ke dalamnya. Dari data diketahui bahwa beban limbah dan penambahan aditif MgO dan SiO₂ berpengaruh terhadap sifat serap air, kuat tekan dan kadar Cr yang terlindi dari monolit keramik limbah.

a. Pengaruh beban limbah terhadap nilai serap air pada keramik dengan aditif MgO dan SiO₂ :

Pengaruh beban limbah terhadap nilai serap air pada keramik dengan ditif MgO dan SiO₂ teknis dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada kondisi waktu pembakaran yang sama yaitu selama 30 menit, penambahan aditif MgO dan SiO₂ sebanyak 1,0 % (b/b) secara fungsional sudah cukup berpengaruh terhadap peningkatan kualitas monolit keramik limbah. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan nilai serap air pada berbagai beban limbah yang ditambahkan tidak signifikan. Tetapi peningkatan nilai serap air cenderung naik ketika beban limbah mencapai 20,0 %. Untuk keramik fungsional seperti halnya keramik hasil immobilisasi limbah B3 telah ditentukan memiliki nilai serap air maksimum sebesar 3,00 %, sehingga beban limbah yang ditambahkan ke dalam bahan keramik perlu dipertimbangkan agar nilai serap air tidak melebihi batas maksimum yang dipersyaratkan sebesar 3,0 %. Pada tahap percobaan ini tidak dilakukan variasi waktu pembakaran, tetapi semua sample dibakar dengan waktu pembakaran yang sama selama 30 menit, karena pada tahap ini hanya untuk mengukur seberapa pengaruh beban limbah yang ditambahkan ke dalam bahan pembentuk keramik, terkait dengan ada dan tidaknya aditif MgO-SiO₂ teknis sebagai *spinel agent*. Sama dengan percobaan yang telah

dilakukan, pada tahap percobaan ini diperoleh data bahwa beban limbah yang direkomendasikan secara aman ada pada kisaran 10,0 % - 15,0 %, pada kondisi ini monolit keramik yang diperoleh dengan aditif MgO-SiO₂ teknis sebesar 1,0 % memberikan nilai serap air sebesar 2,0 sampai 4,0 %.



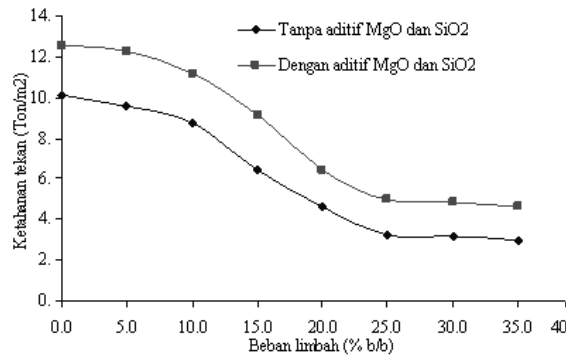
Gambar 1. Pengaruh beban limbah dan penambahan aditif MgO dan SiO₂ terhadap karakteristik nilai serap air keramik limbah pada kondisi pemanasan 1100 °C selama 30 menit.

b. Pengaruh beban limbah terhadap nilai kuat tekan pada keramik dengan aditif MgO dan SiO₂ teknis :

Pengaruh beban limbah terhadap nilai kuat tekan pada keramik dengan aditif MgO-SiO₂ dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa apabila ditinjau dari karakteristik kuat tekan monolit, maka keramik yang diperoleh kualitasnya sangat menurun pada penambahan limbah di atas 20 %, yaitu memberikan nilai ketahanan tekan monolit sekitar 4,65 sampai 6,45 Ton/m². Nilai ini di bawah yang dipersyaratkan untuk monolit blok hasil solidifikasi limbah B3 sebesar 10,00 Ton/m². Kondisi ini dapat disebabkan akibat penambahan limbah yang dapat mempengaruhi proses dekomposisi mineral, terutama pengaruh asam yang ada dalam limbah. Dari percobaan, semakin banyak limbah yang ditambahkan, maka semakin rendah nilai kuat tekan yang dihasilkan. Sedangkan peningkatan beban limbah diduga akan meningkatkan terbentuknya pori monolit, sehingga akan meningkatkan porositas monolit, sehingga adanya porositas yang semakin meningkat, akan menyebabkan menurunkan nilai kuat tekan monolit keramik. Hal ini juga dialami baik keramik dengan bahan pembentuk keramik yang tanpa atau dengan *spinel agent*. Dari percobaan diketahui bahwa penambahan aditif MgO-SiO₂ teknis sebanyak 1,0 % telah mampu meningkatkan nilai rerata kuat tekan untuk semua uji beban limbah sampai 31,5,0 %. Pada tahap percobaan ini diperoleh data bahwa beban limbah yang direkomendasikan secara aman

pada kisaran 10,0 % - 15,0 %. Pada kondisi ini monolit keramik yang diperoleh dengan aditif MgO-SiO₂ teknis sebesar 1,0 % memberikan nilai kuat tekan pada kisaran sebesar 10,0 Ton/m².

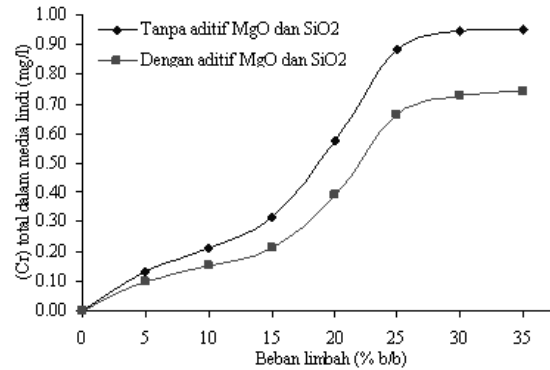


Gambar 2. Pengaruh beban limbah dan penambahan aditif MgO dan SiO₂ terhadap karakteristik kuat tekan keramik limbah pada kondisi pemanasan 1100 °C selama 30 menit.

c. Pengaruh beban limbah terhadap karakteristik pelindian pada keramik dengan aditif MgO-SiO₂ teknis :

Pengaruh beban limbah terhadap karakteristik pelindian (kadar Cr terlindi dalam media lindi) pada keramik dengan aditif MgO-SiO₂ teknis dapat dilihat pada Gambar 3.

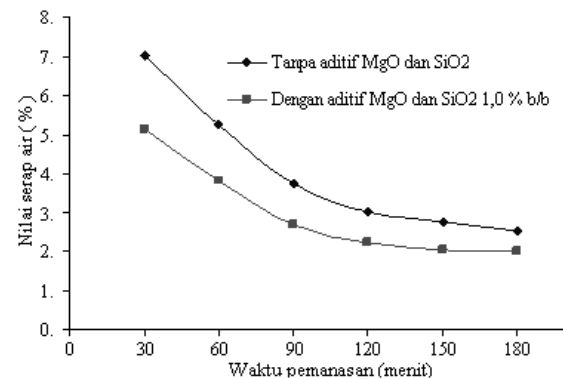
Dari data percobaan tersebut dapat diketahui bahwa pada kondisi pemanasan yang sama, penambahan aditif MgO dan SiO₂ sebanyak 1,0 % (b/b) cukup berpengaruh terhadap karakteristik pelindian logam Cr. Dari percobaan konsentrasi Cr dalam media lindi masih di bawah yang dipersyaratkan untuk pelepasan logam berat Cr dalam media lindi yaitu sebesar 1,0 mg/L. Dari data menunjukkan bahwa peningkatan beban limbah dalam bahan pembentuk keramik mengakibatkan peningkatan konsentrasi limbah Cr yang terlindi. Ini berarti bahwa banyaknya logam Cr yang terlindi sangat tergantung pada kualitas monolit yang dihasilkan. Tingkat pengungkungan logam Cr dalam sistem keramik diduga selain logam Cr terjebak dalam partikel pembentuk keramik, juga karena adanya proses sorpsi lanjut oleh mineral pembentuk keramik. Untuk percobaan selanjutnya dicoba pada beban limbah 15,0 % sampai 20 %, penambahan MgO dan SiO₂ sebanyak 1,0 % (b/b), pemanasan pada suhu 1100 °C dan waktu pemanasan bervariasi.



Gambar 3. Pengaruh beban limbah dan penambahan aditif MgO dan SiO₂ terhadap karakteristik pelindian TCLP limbah Cr keramik limbah pada kondisi pemanasan 1100 °C selama 30 menit.

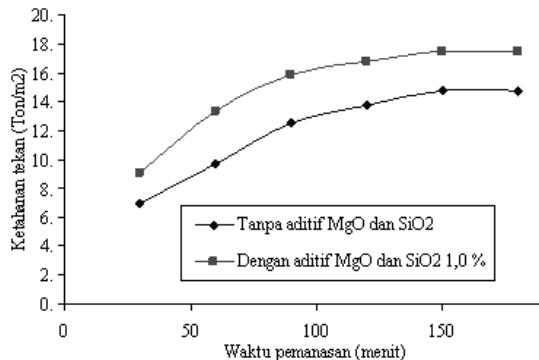
Pengaruh waktu pemanasan terhadap karakteristik monolit keramik limbah.

Dari data percobaan (1) diatas, tahap percobaan selanjutnya dicoba pada beban limbah 15,0 %, penambahan aditif MgO dan SiO₂ sebanyak 1,0 % (b/b), pemanasan pada suhu 1100 °C dan waktu pemanasan (waktu penahanan pemanasan) bervariasi dari 30 sampai 180 menit. Data hasil percobaan untuk mengetahui pengaruh waktu pemanasan terhadap nilai serap air, kuat tekan dan karakteristik pelindian (kadar Cr terlindi dalam media lindi) dari monolit keramik limbah dapat dilihat pada Gambar 4, 5 dan 6. Dari Gambar 4, 5 dan 6 dapat diketahui bahwa kualitas monolit keramik limbah mempunyai kecenderungan semakin baik dengan bertambahnya waktu pemanasan, yaitu ditandai dengan turunnya nilai serap air, naiknya nilai kuat tekan dan turunnya kadar Cr yang terlindi dalam media lindi.



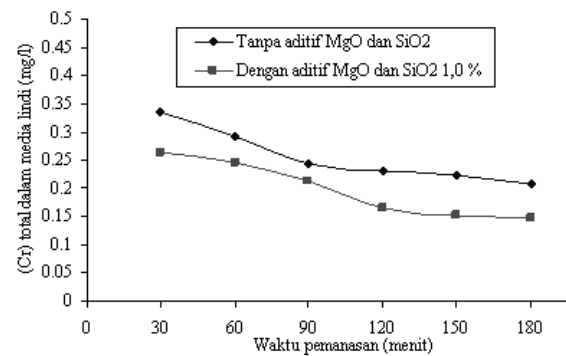
Gambar 4. Pengaruh waktu pemanasan dan penambahan aditif MgO dan SiO₂ terhadap nilai serap air keramik limbah pada kondisi beban limbah (15,0 % b/b), pemanasan pada suhu 1100 °C.

Dari Gambar 4, diperoleh data bahwa nilai serap air semakin turun dengan penambahan waktu pemanasan. Dan pada percobaan awal ini kondisi terbaik dicapai pada waktu pemanasan selama 180 menit yaitu memberikan sifat serap sebesar 2,612 % untuk benda uji tanpa penambahan MgO dan SiO₂, dan 2,004 % untuk benda uji dengan penambahan MgO dan SiO₂ sebanyak 1,0 % (b/b). Peningkatan kualitas monolit keramik limbah dapat dinyatakan dengan terjadinya penurunan nilai serap air monolit keramik, peningkatan nilai ketahanan tekan dan penurunan kadar Cr total yang terlindi.



Gambar 5. Pengaruh waktu pemanasan dan penambahan aditif MgO dan SiO₂ terhadap karakteristik kuat tekan monolit keramik limbah pada kondisi beban limbah Cr 15 %, pemanasan pada suhu 1100 °C.

Dari percobaan, dapat diduga bahwa waktu pemanasan dan penambah *spinel agent* berpengaruh pada proses pembakaran keramik, dan peleburan kalsium karbonat yang berasal dari lempung dan magnesium oksida semakin tinggi dan oksida silikat mengisi pori yang terbentuk, atau dimungkinkan telah terbentuk *spinel* dari magnesium silikat yang mengisi rongga struktur antar kristal sehingga sifat *refractory* dan sifat mekanik produk keramik limbah yang dihasilkan dapat meningkat. Keberadaan *spinel agent* dari magnesia mampu meningkatkan kelenturan matrik yang mengikat sehingga kuat tekan juga akan naik karena pori monolit semakin rendah. Terhadap karakteristik kuat tekan seperti terlihat pada Gambar 5, dengan terbentuknya *spinel* magnesia mampu meningkatkan kuat tekan monolit keramik. Pori yang semakin rendah mengakibatkan kuat tekan monolit semakin tinggi karena jarak antar partikel pembentuk keramik semakin kecil, atau nilai porositas monolit semakin rendah.

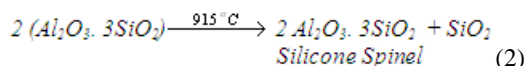
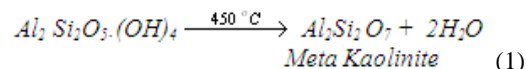


Gambar 6. Pengaruh waktu pemanasan dan penambahan aditif MgO dan SiO₂ terhadap karakteristik pelindian TCLP (kadar Cr yang terlindi dalam media lindi) pada kondisi beban limbah Cr 15 %, pemanasan pada suhu 1100 °C.

Kuat tekan optimum pada hasil dicapai pada waktu pemanasan selama 180 menit yaitu memberikan nilai kuat tekan sebesar 14,71 Ton/m² untuk benda uji tanpa penambahan aditif, dan 17,51 Ton/m² untuk benda uji dengan penambahan aditif MgO-SiO₂ 1,0 %. Karakteristik pelindian limbah Cr dalam monolit keramik sangat tergantung ikatan atom yang terjadi serta struktur kristal yang terbentuk dalam pembentukan keramik. Dari data percobaan yang diperoleh dapat diketahui bahwa waktu pemanasan berpengaruh terhadap karakteristik pelindian yang diperoleh. Dari data percobaan juga diketahui bahwa semakin lama pemanasan yang dilakukan mampu meningkatkan koalitas keramik yang ditandai dengan kadar logam Cr yang terlepas ke media lindi yang semakin rendah. Hal ini dimungkinkan terjadi karena turunnya porositas akibat terbentuknya *spinel magnesium aluminat*. Pada kondisi yang sama diperoleh kadar Cr terlepas ke media lindi sebesar 0,207 mg/L untuk sampel tanpa aditif, dan 0,147 mg/L untuk sampel dengan penambahan aditif MgO-SiO₂ teknis sebesar 1,0 %.

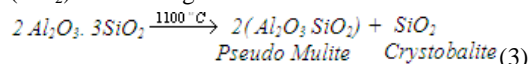
Pada percobaan ini, peningkatan kualitas lempung sebagai bahan pembentuk keramik konvensional juga ditandai adanya peningkatan kualitas keramik diantaranya dengan turunnya sifat serap air, naiknya nilai kuat tekan dan turunnya konsentrasi logam Cr dalam media lindi. Dari percobaan dapat diperoleh data bahwa penambahan aditif MgO-SiO₂ sebanyak 1,0 % sudah mampu meningkatkan koalitas lempung sebagai bahan pembentuk keramik dan sekaligus mampu memperbaiki kualitas monolit keramik limbah yaitu memberikan nilai sifat serap air sebesar 2,004 % ketahanan tekan sebesar 17,51 Ton/m², dan kadar logam Cr dalam media lindi sebesar 0,147 mg/L. Sesuai dengan reaksi pembakaran mineral lokal, maka pada pembakaran antara suhu 1000 °C sampai

1100 °C sudah terjadi reaksi-reaksi sebagai berikut (4,8) :



Model reaksi (1) dan (2) ini merupakan reaksi kristalisasi yaitu terjadi reaksi transformasi senyawa-senyawa oksida dan membentuk senyawa-senyawa kristalin secara serempak tergantung pada waktu pemanasan atau waktu penahanan. Pemanasan sampai dengan tahap ini, kaolin ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) diduga telah mengurai total menjadi alumina amorf dan silika amorf. Selain itu, juga sudah terjadi reaksi oksidasi senyawa-senyawa pengotor yang mudah teroksidasi pada suhu tinggi. Adanya oksidasi ini akan berpengaruh positif terhadap pembentukan monolit keramik dan dengan terbentuknya *spinel magnesia aluminat* di dalamnya. Dalam percobaan ini belum dilakukan analisis mineralogi terhadap pembentukan spinel magnesia aluminat atau spinel alumina silikat.

Pada pemanasan lanjut pada suhu 1100 °C, diduga sebagian mineral sudah mengalami reaksi rekristalisasi silika dari bentuk *amorf* yang pada pemanasan lanjut akan terbentuk *Crystobalite* (SiO_2) sesuai dengan reaksi :



Pori monolit yang ada akibat ditinggal oleh air dan senyawa organik yang teroksidasi akibat adanya reaksi dehidrasi dan oksidasi, sudah mulai merapat dan pori yang terbentuk menjadi semakin kecil. Kondisi ini yang memungkinkan terjadinya penurunan sifat serap air monolit keramik limbah. Terhadap karakteristik ketahanan tekan yang diperoleh, pada pemanasan yang semakin tinggi akan menghasilkan ketahanan tekan yang semakin tinggi pula. Hal ini terjadi karena pada pemanasan yang semakin tinggi, sesuai reaksi (3) maka pori monolit akan semakin rendah sehingga ketahanan tekannya semakin naik dan pada uji lindi logam Cr yang terlindi semakin rendah. Dari percobaan awal ini, diperoleh gambaran teknis suatu model peningkatan kualitas mineral lokal untuk keperluan pematatan lumpur limbah B3, dan dimungkinkan untuk immobilisasi limbah radioaktif. Dari percobaan, diperoleh karakteristik data yang diperoleh sesuai dengan penelitian sebelumnya⁽¹¹⁾.

Dari uji kemampuan matrik secara kontinyu selama 90 hari membuktikan bahwa kondisi sampel uji tetap stabil baik dalam media lindi aquades maupun dalam media lindi air laut, yaitu memiliki laju pelucutan logam Cr rerata dalam media air adalah sebesar $0,116 \times 10^{-3}$ gr/cm²/hari. Dari

percobaan menunjukkan bahwa selain variabel suhu pemanasan dan penambahan aditif tertentu, maka waktu pemanasan dapat menekan nilai laju pelindian polutan logam Cr dalam monolit keramik, sehingga kadar Cr dalam air lindi menjadi rendah. Penggunaan air laut sebagai media lindi dimaksudkan untuk mengetahui percepatan terjadinya kerusakan monolit, karena air laut lebih bersifat merusak bila dibandingkan dengan aquades.

KESIMPULAN

Dari data percobaan, perhitungan dan pembahasan dapat diambil kesimpulan :

1. Kondisi terbaik pada percobaan ini dicapai pada monolit limbah dengan beban limbah B3 yang mengandung logam berat Cr (kadar awal logam Cr sebesar 23,525 mg/ 100 g = 23,525 % b/b limbah) sebanyak 15,0 %, *spinel agent* MgO dan SiO_2 1,0 %, pemanasan 1100 °C dan waktu pemanasan selama 180 menit. Pada kondisi ini memberikan nilai sifat serap air sebesar 2,004 % (standard minimum monolit keramik limbah 3,0 %), dan nilai ketahanan kuat tekan sebesar 17,51 Ton/m² (standard minimal monolit keramik limbah 10,0 Ton/m²) dan kadar Cr total terlindi (90 hari) sebesar 0,114 mg/L atau memiliki laju pelucutan logam Cr sebesar $0,116 \times 10^{-3}$ gr/cm²/hari.
2. Penambahan *spinel agent* MgO dan SiO_2 1,0 %, mampu meningkatkan kualitas lempung sebagai bahan pembentuk keramik limbah.

DAFTAR PUSTAKA

1. COLM, MC. J,J, 1983, Ceramic Sience for Material Technology, Leonard Hill, London.
2. MACZURA G and EVERTS J.A, 1983, Annual Ceramic Mineral resources, Ceramic Buletin, Vol 62-5
3. KOMAR PA, 1983, Prospek pemanfaatan Bentonit Kasongan Untuk Pembersih Minyak Kelapa Sawit, Deptan dan Energi, PPTM, Jakarta
4. HARTONO, 1991, JMV., "Teori Pembakaran", Informasi Teknologi Keramik dan gelas, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri- BALAI BESAR INDUSTRI KERAMIK, Bandung
5. KURNIASIH, SC, 2005, "Pengaruh Penambahan Spinel Terhadap Sifat Fungsional Keramik Alumina", Prosiding Seminar Nasional Keramik V, Balai Besar Keramik, Bandung.
6. RETNO S DAN ENDRO K, 2004, Immobilisasi Lumpur Cr Hasil Pengolahan Kimia Limbah Cair Industri Penyamakan kulit Dengan Teknologi Keramik, Prosiding

- Seminar Nasional Rekayasa Perencanaan I, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Lingkungan – Jurusan Teknik Lingkungan, UPN “VETERAN” JATIM, ISBN : 979 – 98659-0-0.
7. ENDRO K, 2005, “Pengaruh Penambahan Cr_3O_4 Pada Immobilisasi Limbah Lumpur Khrom Menggunakan Teknologi Keramik”, Prosiding Seminar Nasional Keramik V, Balai Besar Keramik, Bandung.
 8. MEDA SAGALA, 2000, Perubahan Fisika-Kimia dan Mineral Pada Pembakaran Lempung, Informasi Teknologi Keramik dan gelas, No. 76, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri dan Perdagangan, BALAI BESAR INDUSTRI KERAMIK, Bandung.
 9. ANONIM, 1991, Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Nomor : No. 03/Men KLH/II/1991 tentang, Standrat Baku Mutu air Limbah di Indonesia.
 10. ANONIM, 1995, Keputusan Kepala Bapedal, Nomor : Kep-03/Bapedal/09/1995, tentang Baku Mutu Hasil Solidifikasi Limbah B3.
 11. ENDRO KISMOLO dan GEDE SUTRESNA WIJAYA, 2011, Peningkatan Kualitas Lempung Untuk Immobilisasi Lumpur Limbah B3 yang Mengandung Logam B3 dengan Teknologi Keramik, Prosiding Workshop Penelitian dan Pengembangan Kulit, karet dan Plastik, BBKPP, Yogyakarta.
 12. VESNA RAKIT, DKK, 2012, The adsorption of alicylic acid, acetylsalicylic acid and atenolol from aqueous solutions onto natural zeolites and clays : Clinoptilolite, bentonite and kaolin, Journal Microporous Material xxx(2012)xxx-xxx.

TANYAJAWAB

Harry Supriadi

- Bagaimana jika menggunakan lempung dari daerah-daerah lain dan masih segar?

Endro Kismolo

- Pada dasarnya untuk tipe lempung yang sama, perbedaan lokasi tidak signifikan mempengaruhi karakteristiknya. Jika menggunakan lempung segar biasanya nilai KTK dari mineral lokal (seperti Na^+ , K^+ , dan Ca^+) yang relatif besar dengan lempung awal.