

## KAJIAN PEMANFAATAN MINERAL LOKAL (BENTONIT, KAOLIN DAN FELDSPAR) UNTUK PENGUNGKUNGAN RADIONUKLIDA URANIUM DALAM LIMBAH LUMPUR

Prayitno

*Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta  
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281*

### ABSTRAK

**KAJIAN PEMANFAATAN MINERAL LOKAL (BENTONIT, KAOLIN DAN FELDSPAR) UNTUK PENGUNGKUNGAN RADIONUKLIDA URANIUM DALAM LIMBAH LUMPUR.** Telah dilakukan penelitian untuk mengkaji keefektifan campuran bentonit, kaolin, feldspar, dalam pengungkungan limbah lumpur. Secara eksperimental penelitian merupakan studi awal pemakaian bentonit, kaolin, feldspar sebagai bahan aditif pengungkungan limbah lumpur. Percobaan dilakukan dengan mencampurkan limbah lumpur (2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 dan 15 %) dari berat total adonan limbah lumpur dengan bentonit, kaolin, feldspar, dan dilakukan pemanasan pada suhu 800, 900 dan 1000 °C. Pada kondisi proses tersebut fraksi uranium yang terkungkung dapat dipertahankan pada harga uji tekan dan uji lindi yang masih memenuhi standar aman (baku mutu) air limbah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan bentonit, kaolin, dan feldspar sebagai aditif dalam pembentukan monolit blok akan mengurangi kadar pelindian limbah lumpur dalam media pelindian.

### ABSTRACT

**EVALUATION OF THE USE OF BENTONIT, KAOLIN AND FELDSPAR FOR IMMOBILIZING THE URANIUM RADIONUCLIDE SLUDGEWASTE.** The experimental investigation on the mixture of bentonit, kaolin, feldspar, sludge waste and with the ratio of bentonit, kaolin, feldspar for evaluating its effectiveness has been done. Experimentally, this investigation is the preliminary study of the use of bentonit, kaolin, feldspar as a material for the immobilization of sludge waste containing material element especially uranium. This investigation was conducted by mixing waste ( 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 and 15 %) of total weight sludge waste and bentonit, kaolin, feldspar with of 800, 900 and 1000 °C temperature. The obtained the process condition in which the uranium fraction immobilized could be kept in the limit of safety standard for the sludge waste. There fore, it could be concluded that the addition of hay ash as an additive in the formation of block monolith tend to minimize the leached sludge waste in the leaching media.

## PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) BATAN Yogyakarta adalah lembaga non departemen yang bergerak di bidang penelitian dan pengembangan teknologi nuklir, salah satu kegiatannya adalah melakukan proses pemurnian uranium alam, bahan bakunya diambil langsung dari pertambangan. Siklus energi untuk sebuah reaktor jenis air ringan dimulai dari bahan tambang uranium yang diproses menjadi bentuk konsentrat uranium oksida yang mengandung campuran uranium-238 dan sejumlah kecil uranium-235. Oksida ini kemudian diubah menjadi bentuk gas (uranium heksafluorida-UF<sub>6</sub>) yang kemudian diperkaya dalam *enrichment plant*.

Di tempat tersebut, konsentrasi uranium-235 ditingkatkan dari kondisi awal 0,7 % menjadi lebih kurang 3 % untuk energi reaktor jenis air ringan. Di dalam suatu proses persiapan energi, UF<sub>6</sub> diubah menjadi uranium dioksida (UO<sub>2</sub>), yang dibuat pelet untuk kemudian dimasukkan ke dalam tabung energi dan dikirimkan ke pembangkit tenaga (*power plant*). Sejumlah besar limbah radioaktif cair dan gas yang berasal dari *reprocessing plant*, harus disimpan secara permanen sampai batas waktu tertentu dan atau diolah pada unit pengolahan limbah radioaktif. Pada setiap tahun dari keseluruhan siklus energi nuklir tersebut, dapat diperkirakan tingkat radioaktif dari bahan-bahan nuklir yang berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya dari tingkat rendah, sedang sampai berat.<sup>(1)</sup>

Secara umum pemaparan terhadap radiasi menimbulkan dua efek utama : kerusakan genetik (mutasi terhadap sistem reproduksi manusia yang dapat menyebabkan leukimia, berbagai jenis kanker, keguguran, katarak, dan kematian. Dengan demikian, untuk evaluasi resiko radiasi, pendekatan dengan asumsi perlu dilakukan secara hati-hati, metode ini dikenal sebagai *Linear non threshold model of radiation damage*. Dengan kata lain, resiko kerusakan berbanding langsung secara proporsional terhadap dosis. <sup>(2)</sup>

Terdapat 3 metode yang digunakan untuk pengolahan limbah radioaktif : Pertama, pengenceran dan penyebaran (*dilute and disperse*). Limbah dengan konsentrasi rendah dilepas ke udara, air atau tanah untuk diencerkan atau dilarutkan sampai ke tingkat yang aman. Kedua, penundaan dan perusakan (*delay and decay*). Metode ini dapat digunakan untuk limbah radioaktif dengan waktu paro (*half-lives*) relatif singkat. Zat-zat tersebut disimpan dalam bentuk cair atau lumpur di dalam tangki. Setelah 10 – 20 kali waktu paronya, zat-zat tersebut mengalami perusakan atau pembusukan ke tingkat yang tidak berbahaya atau kemudian dapat diencerkan dan disebarkan ke lingkungan. Ketiga, konsentrasi dan pengepakan (*concentration and containment*). Metode ini digunakan untuk limbah radioaktif yang sangat toksik dengan waktu paro yang panjang. Limbah tersebut harus disimpan dalam puluhan, ratusan bahkan ribuan tahun, tergantung dari komposisinya. <sup>(3)</sup>

Upaya penelaahan dan pengkajian kemungkinan-kemungkinan dampak terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat yang timbul, baik jangka pendek maupun jangka panjang, dan pengembangan energi nuklir di masa mendatang, perlu segera dilakukan. Perhatian terutama ditujukan terhadap analisis pengkajian resiko penggunaan energi nuklir, pengkajian konsekuensi lingkungan dan kesehatan masyarakat dari kecelakaan reaktor nuklir, serta sistem manajemen limbah radioaktif. <sup>(4,5)</sup>

PTAPB-BATAN Yogyakarta sampai saat ini melakukan pengolahan lumpur limbah radioaktif uranium dengan proses sementasi, tidak menggunakan penekanan hidrolis dan pemanasan. Hasil blok (padatan) yang diperoleh belum bisa menyelesaikan masalah, karena mudah retak dan lembab, hal ini dikawatirkan lepasnya kontaminan ke lingkungan. Untuk mengatasi hal-hal tersebut diperlukan penelitian dan pengembangan pengolahan limbah radioaktif padat yang baik, yaitu dengan proses pemadatan dengan ditekan secara hidrolis kemudian dibakar pada suhu tinggi, menggunakan bahan baku padatan matrik mineral alam. Dipilih mineral-mineral yang mempunyai sifat yang baik dan saling mendukung terjadinya ikatan yang kuat sehingga diharapkan mempunyai daya kungkung tinggi. Untuk memperoleh kualitas produk yang baik dan agar proses pembakaran tercapai pada suhu yang tidak terlalu tinggi, diperlukan penelitian pendahuluan yaitu pencampuran coba-coba (*trial mix*) untuk memilih bahan baku padatan yang terbaik. Agar dalam pencampuran bahan-bahan dapat homogen dibuat ukuran butiran 100 mesh. Pencampuran bahan-bahan yang homogen dapat berfungsi memperbaiki sifat pemuatan, keplastikan dan proses pengerasan. Pembakaran dilakukan paling sedikit satu kali untuk mengubah secara "*irreversible*" bahan padatan yang telah dibentuk (dalam keadaan mentah) menjadi produk yang keras, tahan terhadap korosi, tahan suhu tinggi, tahan kimia dan kuat tekan tinggi<sup>(6)</sup>.

Pengolahan yang diterapkan dalam proses immobilisasi menggunakan mineral lokal, yaitu proses pemadatan dengan bahan mineral lokal yang berfungsi untuk mengurangi adanya penyebaran pencemar uranium pada pembuangan sementara maupun lestari. Untuk meningkatkan kualitas monolit blok hasil immobilisasi, pada penelitian ini akan disubstitusi sebagian bentonit, kaolin, dan feldspar <sup>(7,8)</sup>. Lumpur limbah uranium dalam bentuk keramik akan dilakukan uji tekan dan uji lindi untuk mengetahui ketahanan bahan mineral lokal dan pengaruh mineral lokal dalam mengungkung pencemar uranium.

Tujuan proses pengungkungan dengan substitusi sebagian bentonit, kaolin, dan feldspar adalah untuk mengetahui kemampuan bahan tersebut kuat terhadap tekanan monolit blok hasil proses pengungkungan dan kecepatan pelindian pencemar uranium yang dikungkung secara immobilisasi.



## METODE PENELITIAN

### Bahan

- Bentonit, kaolin, feldspar, air, aquadest, larutan NaOH, limbah lumpur uranium.

### Peralatan

Alat penumbuk, ayakan, timbangan analitik, gelas ukur, gelas beker, labu ukur, pipet, alat penumbuk listrik, botol polietilen, kertas pH, wadah uji lindi, alat uji tekan Paul Weber, cuvet, alat spektrometri.

### Variabel

Pembakaran dilakukan pada suhu 800, 900 dan 1000°C, serta pemberian limbah lumpur : 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, dan 15 % berat total adonan.

### Cara kerja

#### A. Persiapan bahan

- Mineral lokal (bentonit, kaolin, feldspar) dibersihkan dan dikeringkan selanjutnya diayak dengan ukuran butir :  $-100 \pm 200$  mesh.
- Timbang campuran mineral lokal (bentonit, kaolin dan feldspar) sebanyak 1512 gram kemudian dipanaskan pada suhu 300 °C selama 60 menit.
- Proses pembuatan limbah lumpur yang mengandung uranium secara simulasi. Menimbang uranyl nitrat ( $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6 H_2O$ ) 10,5 gram,  $FeCl_3$  225,7 mg dilarutkan dalam 500 ml aquadest, diaduk cepat pada 250 rpm selama 5 menit, kemudian diaduk lambat pada 30 rpm selama 25 menit sambil diatur keasamannya pada pH 9 dengan ditambah larutan NaOH, diendapkan agar terjadi endapan, kemudian disaring, endapan yang terjadi dikeringkan kemudian digerus dan diayak sampai mendapatkan ukuran butir 100 mesh.
- Komposisi campuran mineral lokal dalam % :
  - \* bentonit : feldspar : kaolin = 15 : 25 : 60
  - \* bentonit : feldspar : kaolin = 25 : 60 : 15
  - \* bentonit : feldspar : kaolin = 60 : 15 : 25
- Campuran ditambah 10 % air sebagai perekat, kemudian diaduk hingga homogen, selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan.
- Monolit yang diperoleh diangin-anginkan sampai kering, kemudian dilanjutkan pemanasan dalam furnace sampai suhu 1000 °C selama 60 menit.
- Hasilnya dilakukan uji tekan, serap, dan uji susut.
- Hasil campuran mineral lokal (bentonit, kaolin, feldspar) yang terbaik, ditambah (2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 dan 15 %) berat limbah lumpur uranium.
- Campuran ditambah 10 % air sebagai perekat, kemudian diaduk hingga homogen, selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan.
- Monolit yang diperoleh diangin-anginkan sampai kering, kemudian dipanaskan pada suhu 1000°C selama 60 menit.
- Hasilnya dilakukan uji tekan, serap, dan uji susut.

#### B. Proses pembuatan padatan yang mengandung limbah lumpur uranium

- Dicampur mineral alam bentonit 1,5 g, feldspar 2,5 g dan kaolin 6 g, masing-masing dengan ukuran butir 100 mesh, kemudian ditambahkan limbah lumpur uranium ( 0,25 g; 0,5 g; 0,75 g; 0,10g; 1,25 g; 1,5 g).
- Campuran ditambah 10 ml air dibuat adonan, kemudian diaduk hingga homogen, selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan untuk dicetak menggunakan alat tekan Paul Weber pada tekanan 5 KN.
- Padatan yang diperoleh diangin-anginkan sampai kering ( $\pm 12$  jam) kemudian dilanjutkan dengan pemanasan menggunakan furnace Thermolyne pada suhu 800°C, 900°C dan 1000°C selama 60 menit.
- Setelah dingin dilakukan uji susut berat, uji tekan, uji serap air dan uji lindi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian pengolahan tahap akhir limbah lumpur uranium dengan proses pemadatan menggunakan matrik mineral alam (campuran bentonit, feldspar dan kaolin) sebagai bahan baku pembuatan padatan. Limbah lumpur uranium dibuat secara simulasi dengan aktivitas  $1,26 \cdot 10^2$  Bq/cc, menggunakan proses pengendapan dengan koagulan  $\text{FeCl}_3$  dan  $\text{NaOH}$  sebagai pengatur pH. Hasil pengendapan menunjukkan beningan mempunyai aktivitas  $5,275 \cdot 10^{-2}$  Bq/cc.

Dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan mekanik dan daya ikat (kungkung) monolit padatan terhadap limbah lumpur uranium dengan 4 bentuk pengujian : uji ketahanan tekan, uji susut, uji serap air dan uji laju lindi.

### Penentuan komposisi campuran mineral lokal

Penentuan komposisi campuran mineral lokal yang terbaik, dilakukan secara coba-coba (*trial mix*), hasilnya disajikan dalam tabel 1, sebagai parameter keberhasilan adalah besarnya kekuatan tekan dan rendahnya berat susut. Suhu pembakaran pada campuran coba-coba ini, berlaku juga untuk pembakaran di bawahnya.

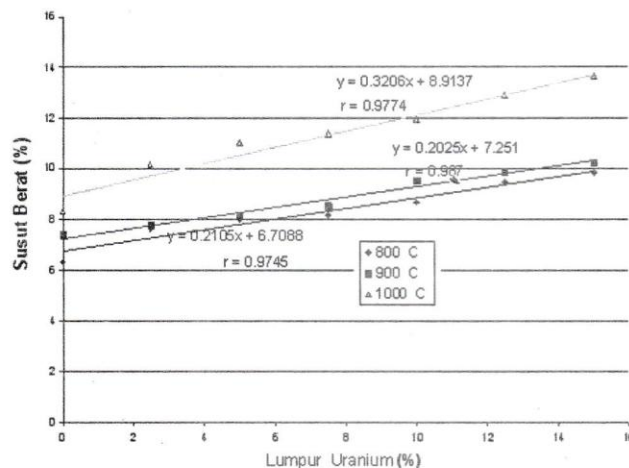
Tabel: 1. Hasil uji dari variasi campuran coba-coba mineral alam pada suhu 1000 °C. selama 1 jam.

No	Campuran mineral alam (g)			Susut berat rata-rata (%)	Kuat tekan rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
	Bentonit	Feldspar	Kaolin		
1	2,5	6,0	1,5	15,295	2,028
2	6,0	1,5	2,5	9,828	2,231
3	1,5	2,5	6,0	8,374	2,409

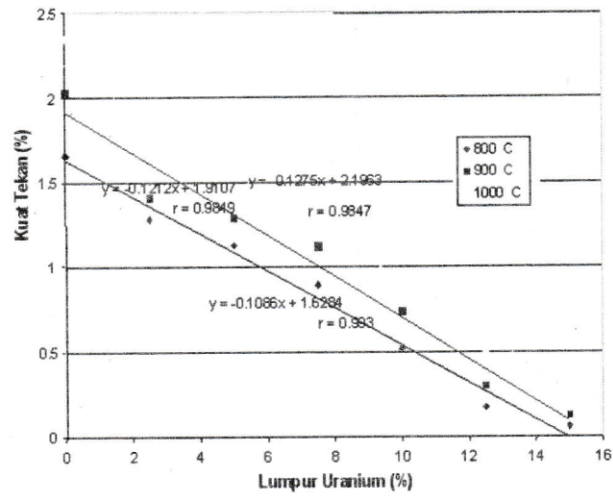
Dari tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa komposisi campuran mineral lokal yang terbaik adalah pada perbandingan % bentonit : feldspar : kaolin = 15 : 25 : 60, karena pada komposisi ini diperoleh kuat tekan terbesar dan susut berat terendah, selanjutnya komposisi mineral alam ini digunakan untuk penelitian.

### Variasi pemberian limbah lumpur pada campuran mineral lokal dan variasi suhu

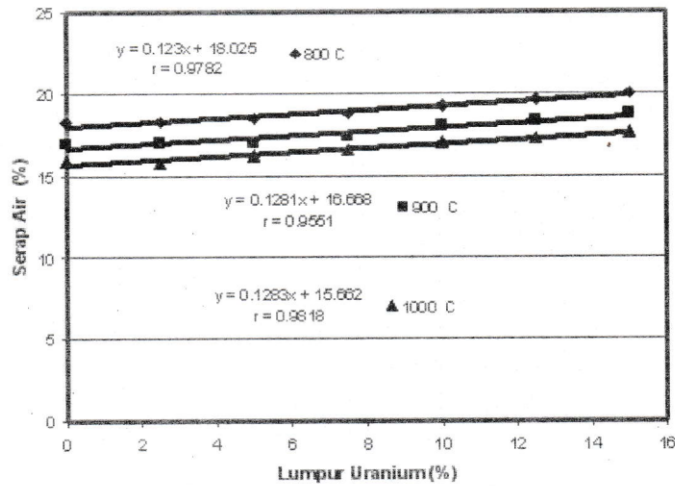
Campuran mineral lokal dengan perbandingan (bentonit:feldspar:kaolin = 15%:25%:60%) setelah ditambahkan limbah lumpur uranium: 2,5 %, 5 %, 7,5 %, 10 %, 12,5 % dan 15 %, dipanaskan pada suhu 800 °C, 900 °C dan 1000 °C selama 1 jam, hasilnya disajikan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 6.



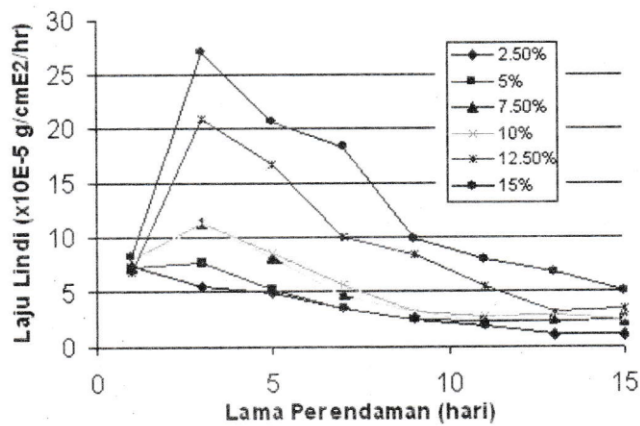
Gambar 1. Grafik korelasi antara susut berat monolit terhadap penambahan limbah lumpur uranium pada suhu 800 °C, 900 °C dan 1000 °C



Gambar 2. Grafik korelasi antara kuat tekan monolit terhadap penambahan limbah lumpur uranium pada suhu 800 °C, 900 °C dan 1000 °C

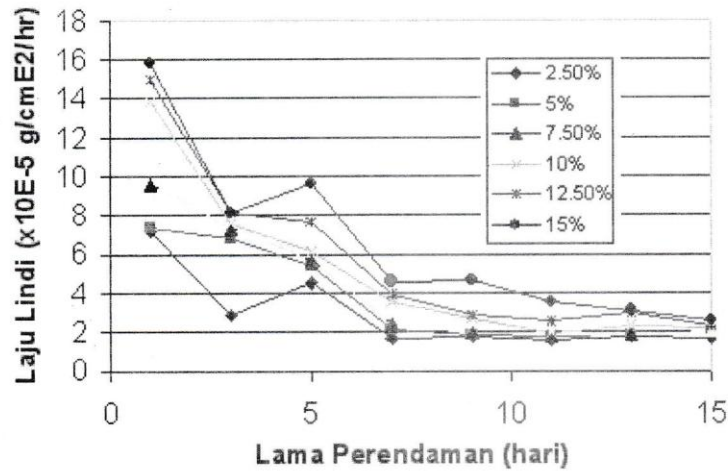


Gambar 3. Grafik korelasi antara serap air terhadap penambahan limbah lumpur uranium pada suhu 800 °C, 900 °C dan 1000 °C

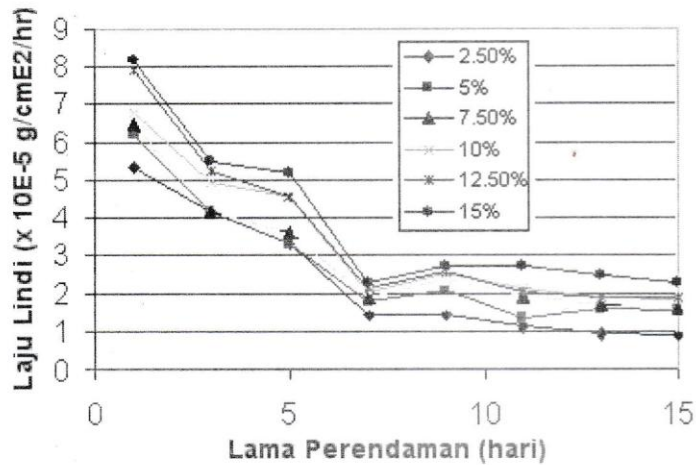


Gambar 4. Grafik korelasi laju lindi terhadap lama perendaman pada suhu 800 °C





Gambar 5. Grafik korelasi laju lindi terhadap lama perendaman pada suhu 900 °C



Gambar 6. Grafik korelasi laju lindi uranium terhadap lama perendaman pada suhu 1000 °C

### Pemberian limbah lumpur uranium dan pengaruhnya terhadap suhu pembakaran

Pencampuran coba-coba (*trial mix*) mineral alam ditekan dengan kekuatan tekan 5 KN dan dipanaskan pada suhu 1000 °C selama 1 jam seperti yang disajikan pada tabel 1. Diperoleh hasil terbaik dengan tekanan maksimum rata-rata 2,409 N/mm<sup>2</sup> dan susut berat rata-rata 11,460 %.

Pembakaran monolit pada suhu 800 °C, nilai susut berat terkecil berada pada penambahan limbah lumpur uranium sebanyak 2,5% yaitu sebesar 7,640 %, sedangkan susut berat terbesar berada pada penambahan limbah lumpur uranium sebanyak 15% (Gambar 1), semakin besar penambahan limbah lumpur uranium semakin besar pula tingkat susutnya, karena pengotor pada monolit semakin besar.

Penambahan limbah lumpur uranium yang memberikan penyerapan air terbesar pada monolit adalah 15%, sedangkan penyerapan air terkecil pada penambahan limbah lumpur uranium 2,5%, seperti yang ditunjukkan Gambar 4, bahwa semakin besar penambahan limbah lumpur uranium semakin besar pula penyerapan air yang terjadi dan penambahan ini terjadi secara linier.

Dalam uji lindi, nilai laju lindi yang terbesar berada pada penambahan limbah lumpur uranium 15% yaitu sebesar 27,01 10<sup>-5</sup> gr/cm<sup>2</sup>-hari, ini terjadi pada hari ke 3, sedang laju lindi terkecil pada penambahan limbah

lumpur uranium 2,5% hari ke 15 sebesar  $0,953 \cdot 10^{-5}$  gr/cm<sup>2</sup>.hari. Nilai lindi setiap variasi penambahan limbah lumpur uranium tidak memberikan perbedaan yang signifikan antara satu dengan lainnya karena pada pemanasan ini masih terjadi proses sorpsi oleh mineral dan proses dehidroksilasi yang membentuk meta kaolin. di samping itu terjadi inversi kuarsa yang disertai dengan perubahan volume.

Dengan memperhatikan Gambar 1 dan 2, bahwa pemanasan suhu 800°C memberikan pengaruh pada susut berat yaitu semakin besar penambahan limbah lumpur uranium maka kualitas monolit semakin rendah, karena susutnya semakin besar. Pada uji kuat tekan yaitu semakin besar penambahan limbah lumpur uranium maka kualitas monolit semakin rendah, karena kuat tekannya semakin kecil. Sedangkan untuk serap air pada monolit, semakin besar penambahan limbah lumpur uranium, nilai serap airnya semakin besar demikian juga pada uji lindi, semakin besar penambahan sludge limbah uranium, semakin besar pula nilai lindinya.

Pemanasan monolit pada suhu 900°C menunjukkan penambahan limbah lumpur uranium 2,5% memberikan kuat tekan 1,408 N/mm<sup>2</sup>, pada penambahan 7,5% turun menjadi 1,117 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada penambahan limbah lumpur uranium 10 % sampai dengan 15 % (Gambar 2), nilai kuat tekannya semakin menurun yaitu berada di bawah 1 N/mm<sup>2</sup> dan makin banyak penambahan limbah lumpur uranium makin buruk kualitas monolit yang dihasilkan.

Nilai susut berat terkecil berada pada penambahan limbah lumpur uranium 2,5% yaitu 7,755 % sedangkan susut berat terbesar berada pada penambahan 15% yaitu 10,230 % (Gambar 1). Pada penambahan limbah lumpur uranium 15% uji serap air sebesar 18,74% sedangkan penyerapan air terkecil pada penambahan 2,5% yaitu sebesar 16,99 % (Gambar 3).

Nilai laju lindi yang terbesar berada pada penambahan limbah lumpur uranium 15% yaitu sebesar  $15,83 \cdot 10^{-5}$  gr/cm<sup>2</sup>.hari terjadi pada hari ke 1, sedangkan laju lindi terkecil berada pada penambahan limbah lumpur uranium 2,5 % yaitu sebesar  $1,578 \cdot 10^{-5}$  gr/cm<sup>2</sup>.hari pada hari ke 11 (Gambar 5).

Pemanasan pada suhu 900°C ini tidak banyak terjadi perbedaan reaksi pada monolit dengan pemanasan pada suhu 800°C, sehingga karakteristik proses dan sifat-sifat kimia yang terjadi pada monolit tidak jauh berbeda.

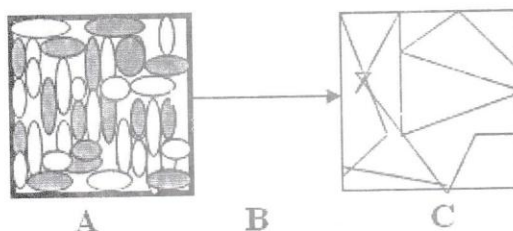
Pembakaran monolit pada suhu 1000°C terlihat pada Gambar 2, bahwa penambahan limbah lumpur uranium 2,5% sampai dengan 15% masih memberikan kuat tekan yang lebih besar, dibandingkan dengan pemanasan sebelumnya, namun demikian belum dapat mencapai pada batas standar yang telah direkomendasikan yang besarnya 2,5 N/mm<sup>2</sup>. Pengamatan pada susut berat, nilai susut berat terkecil berada pada penambahan limbah lumpur uranium 2,5 % yaitu sebesar 10,144 % sedangkan susut berat terbesar berada pada penambahan 15 % yaitu 13,627 % (Gambar 1).

Penambahan limbah lumpur uranium yang memberikan penyerapan air terbesar pada monolit adalah pada penambahan limbah sludge 15 % yaitu sebesar 17,61 % sedangkan penyerapan air terkecil pada penambahan limbah lumpur uranium 2,5% yaitu 15,97 % (Gambar 3).

Pada uji lindi, pelindian sangat penting dilakukan untuk mengetahui seberapa besar radionuklida atau kontaminan yang ada di monolit lepas ke lingkungan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan untuk menentukan metode pengelolaan limbah radioaktif yang tepat pada tahap berikutnya. Hasil pengamatan nilai laju lindi yang terbesar berada pada penambahan limbah lumpur uranium 15 % yaitu  $8,183 \cdot 10^{-5}$  gr/cm<sup>2</sup>.hari, pada hari pertama, sedangkan laju lindi terkecil berada pada penambahan 2,5 % yaitu  $0,883 \cdot 10^{-5}$  .gr/cm<sup>2</sup>.hari, terjadi pada hari ke 15 (Gambar 6). Apabila dilihat bahwa selama pemanasan pada suhu 800 °C, 900 °C dan 1000 °C aktivitas uranium yang terluot ke media lindi sangat kecil dan bervariasi dan dapat dikatakan bahwa sistem pengungkungan limbah radioaktif dengan metode pemadatan ini cukup baik dibuktikan dengan hasil laju lindi yang masih jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan batas ketentuan yang direkomendasikan oleh IAEA yang besarnya  $1 \cdot 10^{-3}$  g/cm<sup>2</sup>.hari.<sup>(6)</sup>



Pada pemanasan dengan suhu 1000 °C mineral alam ini akan terjadi reaksi peruraian (disosiasi), pengaturan kembali atom dan dekomposisi, menguapkan air higroskopis (mekanis) dan air hidrat. Pada reaksi ini akan terjadi kristalisasi yaitu reaksi transformasi senyawa-senyawa oksida membentuk senyawa-senyawa kristalin. Sampai tahap ini kaolin telah mengurai total menjadi alumina amorf dan silika amorf sehingga memungkinkan terjadi perubahan ketidakmurnian mineral menjadi bentuk yang mudah dihilangkan. Pada variasi penambahan limbah sludge uranium dan variasi suhu nampak bahwa semakin banyak penambahan limbah lumpur uranium maka semakin kecil kualitas monolit. Sedangkan semakin tinggi suhu pemanasan monolit maka semakin baik kualitas monolit tersebut. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu pemanasan maka akan terjadi perubahan fase  $\text{SiO}_2$  yang akan melebur membentuk gelas sehingga semakin kuat dalam mengikat limbah sludge uranium. Dari hasil penelitian diketahui adanya kandungan uranium yang masih terlindi, terutama pada penambahan limbah yang tinggi, hal ini disebabkan semakin tinggi penambahan limbah lumpur uranium maka kebutuhan rongga-rongga dalam partikel mineral lokal akan semakin besar yang pada akhirnya akan mencapai kejenuhan. Pada keadaan tersebut partikel limbah lumpur tidak dapat terikat dengan sempurna, baik secara fisik maupun secara kimia, sehingga apabila direndam dalam air maka sebagian limbah sludge akan terlarut dalam air rendaman. Dengan demikian setelah tingkat jenuh terjadi, semakin banyak limbah sludge uranium yang ditambahkan maka akan semakin besar pula limbah lumpur uranium yang terlindi. Dengan asumsi inilah dapat dilihat bahwa peranan mineral lokal alam (campuran bentonit, feldspar dan kaolin), variasi prosentase limbah lumpur uranium dan perbedaan suhu pembakaran mempunyai pengaruh dalam memberikan kualitas pada monolit. Secara fisik di dalam proses pemadatan dengan cara pembakaran akan terjadi perubahan struktur bahan, dari bentuk antar partikel menjadi bentuk kristal. Dengan demikian ikatan yang terjadi antara partikel dengan limbah lumpur uranium akan semakin kuat. Ikatan kimia yang terjadi antar partikel dalam bahan berupa ikatan kovalen dan ikatan ionik. Dengan demikian secara kimia ikatan yang terbentuk dalam benda hasil pembakaran merupakan suatu ikatan kimia yang kuat. Ikatan yang terjadi terutama oleh adanya partikel  $\text{SiO}_2$  sebagai unsur utama pembentuk gelas menunjukkan kemampuan pengungkungan yang sangat baik. Hal ini terjadi karena reaksi kimia yang terjadi diperkuat dengan adanya dengan adanya suhu yang tinggi, sehingga selain terjadi reaksi kimia yang cepat juga terjadi suatu ikatan kimia yang kuat. Kandungan partikel pada mineral lokal alam terutama  $\text{SiO}_2$  akan melebur pada suhu 1000°C. Oleh karena antara partikel mineral lokal alam dengan partikel limbah lumpur uranium adalah suatu kesatuan (berbentuk monolit) maka leburan partikel-partikel yang ada akan bercampur menjadi satu dan saling mengikat dengan kuat. Setelah proses pendinginan hasil pemadatan akan mengeras dan strukturnya telah berubah menjadi struktur kristal. Dalam sketsa dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 7. Perubahan susunan partikel dalam pemadatan

Keterangan :

A : Susunan partikel sebelum pemadatan

B : Proses pemadatan

C : Susunan partikel setelah pemadatan



Partikel  $\text{SiO}_2$  dalam mineral alam lokal



Partikel limbah lumpur uranium

Pada sketsa tersebut terlihat dengan jelas perbedaan susunan partikel dalam bahan sebelum dan sesudah proses pemadatan. Dengan terjadinya leburan, maka struktur partikel berubah dari bentuk yang hanya menempel menjadi bentuk yang telah menyatu dan mengkristal sehingga sulit dipisahkan lagi. Perbedaan yang muncul juga terjadi pada susutnya ukuran monolit yaitu antara 8 % sampai 13 % lebih. Hal ini terjadi karena



rongga-rongga kosong yang masih terdapat pada monolit sebelum pembakaran tertutup lelehan partikel bahan setelah proses pembakaran.

### KESIMPULAN

1. Campuran mineral alam: bentonit, feldspar dan kaolin dapat digunakan sebagai bahan pemadatan, perbandingan yang terbaik berturut-turut: 15 %, 25 % dan 60 %, setelah pemanasan pada suhu 1000 °C hasil uji tekan padatan maksimum rata-rata 2,409 N/mm<sup>2</sup> dan susut berat rata-rata 11,46 %.
2. Padatan mampu/dapat mengikat limbah lumpur uranium, hal ini ditunjukkan dalam uji pelindian, makin lama perendaman makin kecil nilai laju lindinya.
3. Suhu pembakaran berpengaruh terhadap kualitas padatan variasi prosentase limbah lumpur uranium. Suhu makin tinggi kuat tekan makin besar misalnya pada penambahan limbah lumpur 2,5 % dari 1,277 N/mm<sup>2</sup> menjadi 1,705 N/mm<sup>2</sup> demikian juga susut berat dari 7,64 % menjadi 10,144 %, sedangkan nilai serap air makin kecil dari 18,28 % menjadi 15,97 %, demikian juga laju lindi dari 7,336.10<sup>-5</sup> g/cm<sup>2</sup>.hari menjadi 5,352.10<sup>-5</sup> g/cm<sup>2</sup>.hari. Makin banyak penambahan prosentase limbah lumpur uranium, makin turun kualitas padatan.

### DAFTAR PUSTAKA

1. ALAN MARTIN, SAMUEL. A, HARBISON., An Introduction to Radiation Protection, Champornan and Hall, London, New York (1986).
2. ANONIM., Bahan-bahan Berbahaya dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta (1996).
3. ANONIM., Prospek Bahan Galian di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Pemerintah Propinsi DIY Dinas Pertambangan (1999).
4. ANWAR K.P., Prospek Pemanfaatan Bentonit Nanggulan Untuk Penjernihan Minyak Kelapa Sawit, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung (1983).
5. ANONIM., "Ketentuan Keselamatan Kerja terhadap Radiasi" (SK BAPETEN No.01/Ka-BAPETEN/99), Jakarta (1999).
6. ANONIM., "Ketentuan Keselamatan Untuk Pengelolaan Limbah Radioaktif", BATAN, Jakarta (1986).
7. BARABA, W., Membangun Struktur Keramik Maju Indonesia Berbasis Sumber Daya Lokal, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Keramik, Bandung (1999).
8. ENDRO, K., "Pengolahan Limbah Cair Krom Menggunakan Natrium Hidroksida, Magnesium Oksida dan Natrium Karbonat", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, P3TM BATAN, Yogyakarta (2001).