

## PEMADATAN RESIN PENUKAR ION BEKAS YANG MENGANDUNG LIMBAH CAIR TRANSURANIUM SIMULASI DENGAN EPOKSI

Wati, Gustru Nurliati, Mirawati  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PEMADATAN RESIN PENUKAR ION BEKAS YANG MENGANDUNG LIMBAH CAIR TRANSURANIUM SIMULASI DENGAN EPOKSI.** Telah dilakukan penelitian pemadatan resin penukar ion bekas yang mengandung limbah cair transuranium simulasi dengan epoksi. Pemadatan dilakukan dengan mencampur epoksi dan hardener pada rasio 1:1, kemudian ditambah resin penukar ion bekas yang mengandung limbah cair transuranium simulasi dengan kandungan limbah dalam polimer 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Blok polimer-limbah sebagai fungsi kandungan limbah ditentukan densitas, kuat tekan dan laju pelindiannya. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat uji tekan Paul Weber dan laju pelindiannya dengan alat Soxhlet pada 100 °C, 1 atm selama 6 jam. Semakin besar kandungan limbah maka densitas semakin besar, kuat tekan polimer-limbah semakin kecil, sedangkan laju pelindiannya semakin besar. Berdasarkan densitas, kuat tekan dan laju pelindihan, maka hasil terbaik diperoleh untuk blok polimer-limbah dengan kandungan limbah 20 % berat. Laju pelindihan radionuklida Cs dari blok polimer-limbah dengan kandungan limbah 20 % pada suasana netral nilainya paling kecil dibanding suasana asam maupun basa, sedang laju pelindihan pada suasana asam lebih besar daripada suasana basa.

### ABSTRACT

**SOLIDIFICATION OF SPENT ION EXCHANGE RESIN CONTAINING THE SIMULATED TRANSURANIC LIQUID WASTE USING EPOXY.** The research of solidification of spent ion exchange resin containing transuranic liquid waste using epoxy resin had been conducted. Solidification was done by mix epoxy resin and hardener at ratio 1:1, then it was added spent ion exchange resin containing the simulated transuranic liquid waste. The waste loading in the polymer were made on the variation of 0, 10, 20, 30, 40, and 50 % weight. The product qualities of waste-polymer blocks as function of waste loading were determined by measurement of its density, compressive strength, and leaching rate. The compressive strength were determined by Paul Weber apparatus and the leaching test were performed using soxhlet apparatus at 100 °C, 1 atm for 6 hours. Increasing of waste loading gives the impact of increasing of density, decreasing of compressive strength, and increasing of leaching rate. Base on the quality of density, compressive strength and leaching rate, the best result of solidification was reached on the waste loading capacity of 20 % weight. The leaching rate of Cs radionuclide from waste-polymer blok for waste loading 20 % weight at neutral condition is smaller than acid condition or based condition, and leaching rate at acid condition is bigger than based condition.

### PENDAHULUAN

Limbah cair aktivitas tinggi (LCAT) umumnya ditimbulkan dari ekstraksi siklus I proses olah ulang bahan bakar bekas reaktor nuklir, sedangkan limbah cair transuranium (LCTRU) ditimbulkan dari ekstraksi siklus II proses tersebut [1]. Proses olah ulang bertujuan untuk mengambil sisa uranium yang tidak terbakar dan plutonium yang terjadi dalam bahan bakar bekas reaktor nuklir. Komponen utama LCAT adalah radionuklida hasil belah (*fission product*) yang terkontaminasi aktinida. Sedangkan LCTRU pada umumnya berupa pelarut bekas dari proses olah ulang bahan bakar bekas, yang banyak mengandung aktinida dan sedikit hasil belah.

Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif di PTLR dirancang untuk mengolah limbah radioaktif aktivitas rendah dan sedang dari

reaktor G.A. Siwabessy beserta instalasi penunjangnya. Pada perkembangan lebih lanjut timbul limbah aktivitas tinggi dan transuranium dari produksi radioisotop di Instalasi Produksi Radioisotop (IPR) dan pengujian bahan bakar pasca iradiasi di Instalasi Radiometalurgi (IRM). Sesuai dengan azas keselamatan yang dianut oleh teknologi nuklir maka limbah radioaktif ini harus dikelola dengan baik untuk melindungi lingkungan dan masyarakat dari potensi dampak radiologi yang dapat ditimbulkan.

Instalasi Radiometalurgi melakukan pengujian terhadap bahan bakar dengan pengkayaan  $U^{235}$  20 % yang telah diiradiasi dalam reaktor. Bahan bakar teriradiasi ini kemudian dilarutkan dalam  $HNO_3$  6-8 N. Karena berasal dari iradiasi bahan bakar yang diperkaya 20 % secara teoritis kandungan hasil belah dan aktinidanya banyak. Agar

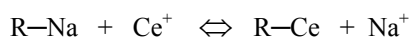
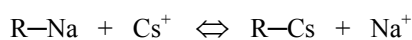


atau medium pendispersi dan dapat juga terjadi karena adanya perubahan kimiawi misal polimerisasi pembentukan ikatan silang.

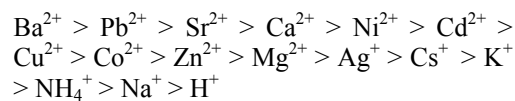
Epoksi merupakan campuran dari monomer-monomer bisfenol A dan epiklorohidrin, yang mempunyai rumus dan struktur kimia seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. *Hardener* (pengeras) mempunyai fungsi sebagai katalisator reaksi berantai dalam pembentukan polimer, dengan pencampuran epoksi dan pengeras tersebut terbentuklah polimer epoksi. Polimer epoksi termasuk jenis resin termoset. Resin termoset mempunyai struktur tiga dimensi. Polimer tiga dimensi adalah polimer yang dapat membentuk struktur jaringan bila monomer yang bereaksi bersifat fungsional ganda, artinya mereka dapat menghubungkan tiga atau lebih molekul yang berdekatan [8]. Bila dalam pencampuran resin epoksi dan pengeras tersebut ditambahkan pula limbah radioaktif, maka konstituen limbah akan terkungkung dalam struktur kerangka tiga dimensi polimer tersebut sebagai *filler*.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh komposisi polimer-limbah yang optimal sehingga diperoleh karakteristik blok polimer-limbah yang baik. Karakteristik blok polimer-limbah yang dipelajari adalah densitas, kuat tekan dan laju pelindihan sebagai fungsi kandungan limbah (*waste loading*). Pembuatan limbah cair simulasi dilakukan dengan melarutkan  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CeO}_2$  ke dalam air bebas mineral dengan perbandingan sesuai data komposisi limbah radioaktif cair dari IRM (Tabel 1.) [2]. Dari data tersebut radionuklida yang dominan adalah  $\text{Cs}^{137}$ , sedang unsur yang lain diganti dengan cerium (Ce).

Hasil imobilisasi LCTRU dipengaruhi oleh kandungan limbah atau *waste loading* (WL) dan bahan aditif yang digunakan untuk menyerap limbah cair tersebut. Bahan aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin penukar ion jenis *Amberlite IR 120 Na* dari *Rohm and Haas France S.A.S*. Resin penukar ion digunakan untuk partisi atau pengolah awal limbah transuranium dari IRM. Resin penukar ion tidak menyerap air, tetapi berfungsi untuk mengikat ion cesium dan cerium, sesuai persamaan reaksi :



dimana R adalah gugus fungsional dari resin penukar ion. Resin penukar ion jenis *amberlite* mempunyai kerangka polimer polistirena-divinil benzena, dengan gugus fungsional  $-\text{SO}_3\text{HNa}$  atau  $-\text{SO}_3\text{Na}$  atau  $-\text{CH}_2\text{SO}_3\text{Na}$  untuk kation, dan gugus amina primer, sekunder atau tersier untuk anion. Reaksi pertukaran ion terjadi karena gaya tarik menarik listrik. Kation yang telah terikat pada resin dapat disubstitusi oleh kation dari larutan apabila kation dalam larutan mempunyai koefisien selektivitas yang lebih besar dari kation yang terikat pada resin. Urutan selektivitas kation tersebut adalah [9] :



Dalam hal ini kation yang berada di sebelah kiri dapat mensubstitusi kation yang berada di sebelah kanan yang telah terikat resin. Untuk resin anion, anion yang telah terikat resin dapat disubstitusi oleh anion dari larutan apabila anion dalam larutan mempunyai koefisien selektivitas lebih besar daripada anion yang telah terikat resin. Urutan koefisien selektivitas adalah sebagai berikut [9] :



Anion yang berada di sebelah kiri dapat mensubstitusi anion-anion di sebelah kanannya yang telah terikat resin.

Dalam makalah ini karena resin bekas digunakan untuk partisi atau pengolahan awal limbah transuranium yang berumur panjang dan panas radiasi yang ditimbulkan tidak terlalu tinggi maka diimobilisasi dengan polimer yang tahan dalam jangka lama. Keuntungan lain penggunaan polimer untuk imobilisasi resin bekas adalah adanya reduksi berat dan reduksi volume sehingga lebih efisien dan ekonomis dari segi transportasi dan disposalnya. Disamping itu imobilisasi resin penukar ion bekas menggunakan polimer sangat menguntungkan karena keduanya merupakan senyawa organik.

Blok polimer-limbah diukur densitasnya, kemudian dilakukan pengujian terhadap kuat tekan dan laju pelindihan. Densitas merupakan salah satu parameter blok polimer limbah yang dibutuhkan untuk memprediksi keselamatan transportasi, penyimpanan sementara (*interm storage*), dan penyimpanan lestari. Densitas dari blok polimer-limbah ditentukan dengan persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dimana:  $\rho$  = densitas ( $\text{g/cm}^3$ ),  $m$  = massa sampel (g),  $V$  = volume sampel ( $\text{cm}^3$ ).

Kuat tekan adalah gaya maksimum yang dibutuhkan untuk menghancurkan benda uji dibagi luas permukaan yang mendapat tekanan. Kuat tekan blok polimer- limbah merupakan parameter penting untuk mengevaluasi besarnya benturan agar menjamin keselamatan penanganan, transportasi dan penyimpanan lestariannya. Kuat tekan benda uji dihitung menggunakan persamaan :

$$\sigma_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2)$$

dimana:  $\sigma_c$  = kuat tekan ( $\text{kN/cm}^2$ ),  $P_{maks}$  = beban tekanan maksimum (kN),  $A$  = luas penampang ( $\text{cm}^2$ ). Faktor yang mempengaruhi kuat tekan adalah komposisi dan homogenitas.

Laju pelindihan adalah salah satu karakteristik blok polimer limbah yang penting untuk evaluasi hasil imobilisasi, karena tujuan akhir imobilisasi limbah memperkecil potensi terlepasnya radionuklida yang ada dalam limbah itu ke lingkungan. Laju pelindihan dipercepat digunakan pada penelitian jangka pendek untuk mengetahui pengaruh beberapa parameter dan mengevaluasi kualitas hasil imobilisasi. Laju pelindihan dalam hal ini diasumsikan sebagai lepasnya sejumlah unsur limbah (Cs) dari blok polimer-limbah. Untuk mengetahui unsur Cs yang terlindih selama uji pelindihan dilakukan analisis air pelindih menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 852,5 nm.

## TATA KERJA

### Bahan

Resin penukar ion jenis *Amberlite IR 120 Na* dari *Rohm and Haas France S.A.S*, Cesium Karbonat ( $\text{Cs}_2\text{CO}_3$ ) dari Merck, Cerium Oksida ( $\text{CeO}_2$ ) dari Sigma Chemical Co., Glisin dari Merck, Natrium Oksida ( $\text{NaOH}$ ) dari Merck, dan Resin Epoksi EPOSIR 7120 dari PT. Justus Kimia Raya.

### Alat

Alat-alat yang digunakan meliputi : Spektrofotometri Serapan Atom dari Perkin Elmer type A. Analyst 700, blok cetakan polimer berbentuk silinder dengan diameter 25 mm dan tinggi 20 mm, neraca analitik, alat uji tekan Paul Weber, Soxhlet untuk uji lindih dan pH meter

### Metode

#### (1) Pembuatan Limbah Cair Transuranium Simulasi

Limbah cair transuranium simulasi dibuat dengan cara melarutkan 20 gram  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  ke dalam 1 liter air bebas mineral untuk limbah simulasi I. Sedangkan limbah simulasi II dibuat dengan cara melarutkan campuran antara  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CeO}_2$  dengan perbandingan berat Cs : Ce adalah 1: 1.246,5 ke dalam 1 liter air bebas mineral.

#### (2) Pengolahan Awal/Partisi Limbah Cair Transuranium Simulasi Dengan Resin

Limbah cair transuranium simulasi yang terbentuk selanjutnya diserap menggunakan resin penukar ion jenis *Amberlite IR 120 Na* dari *Rohm and Haas France S.A.S*. sampai resin menjadi jenuh. Setelah resin jenuh kemudian dikeringkan pada suhu 100 °C menggunakan oven untuk menguapkan kadar airnya sampai resin benar-benar kering. Resin bekas yang mengandung Cs serta campuran Cs + Ce ini selanjutnya disebut sebagai ”resin bekas I” dan ”resin bekas II” yang digunakan untuk penelitian selanjutnya dalam pembuatan blok polimer-limbah. Banyaknya resin yang digunakan dan kandungan unsur Cs maupun campuran Cs + Ce yang ada dalam resin bekas ditunjukkan pada Tabel 2.

#### (3) Pembuatan Blok Polimer-Limbah

Polimer yang digunakan sebagai pengungkung adalah jenis polimer EPOSIR 7120 yang dicampur dengan bahan pengeras (*hardener*) dengan perbandingan 1 : 1 (perbandingan sesuai dengan petunjuk aplikasi). Limbah (resin bekas I dan II) masing-masing dicampur dengan polimer dengan berbagai kandungan limbah (*waste loading*) yaitu 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat untuk mencari rasio optimum limbah-polimer. Perbandingan komposisi limbah-polimer ditunjukkan pada Tabel 3. Pengadukan campuran dilakukan selama 10 menit, kemudian campuran yang telah homogen dimasukkan ke dalam blok cetakan

silinder yang berukuran tinggi 20 mm dan diameter 25 mm, kemudian dibiarkan mengeras selama 8 jam. Setelah blok polimer-limbah mengeras kemudian dikeluarkan dari cetakan dan selanjutnya dilakukan uji kualitas meliputi uji densitas, kuat tekan dan laju pelindihan.

#### (4) Uji Kualitas Blok Polimer-Limbah

Pengukuran densitas dilakukan dengan cara mengukur tinggi dan diameter sampel dengan jangka sorong serta menimbang blok polimer-limbah yang telah berulang-ulang dikeringkan dalam oven dan didinginkan dalam desikator hingga diperoleh berat konstan. Densitas sampel dihitung berdasarkan persamaan (1). Pengujian kekuatan tekan dilakukan dengan kompaktor buatan *Paul Weber* jenis D.7064 *Remshaiden-Grumbach*. Sampel polimer-limbah yang berbentuk silinder dilakukan penekanan sampai pecah. Kuat tekan polimer-limbah dihitung berdasarkan persamaan (2). Pelindihan dilakukan dengan alat soxhlet pada 100 °C, 1 atm selama 6 jam. Untuk mengetahui unsur Cs yang terlindih selama uji pelindihan dilakukan analisis air pelindih menggunakan SSA pada panjang gelombang 852,5 nm. Rasio optimum blok polimer-limbah hasil imobilisasi didapatkan dari hasil penentuan densitas, kuat tekan dan laju pelindahannya.

#### (5) Penentuan Pengaruh Keasaman Larutan Pelindih (pH) Terhadap Laju Pelindihan Radionuklida Cs Dari Blok Polimer-Limbah Hasil Imobilisasi

Uji pelindihan untuk variasi keasaman larutan pelindih (pH) dilakukan terhadap sampel blok polimer-limbah hasil imobilisasi dengan rasio polimer-limbah yang paling optimum. Uji pelindihan untuk variasi keasaman larutan pelindih (pH) dilakukan pada pH 2, 5, 7, 9, dan pH 12. Air pelindih untuk pH 2 dan 5 dibuat dengan menambahkan glisin, sedangkan untuk pH 9 dan 12 dengan NaOH. Penentuan pengaruh keasaman larutan pelindih (pH) terhadap laju pelindihan radionuklida Cs dari blok polimer-limbah ini metodenya sama dengan penentuan laju pelindihan untuk uji kualitas di atas, hanya air pelindih keasamannya dibuat bervariasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini reaksi polimerisasi yang digunakan adalah dengan *curing* bersifat eksotermis, karena proses dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana dan biaya yang murah. Epoksi dipilih karena mempunyai beberapa sifat unggul, diantaranya adalah kekuatan mekanik yang baik, tahan terhadap bahan kimia, adhesif dan mudah diproses. Resin Amberlite IR 120 Na dari Rohm and Haas France S.A.S yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas tukar kation 1,5 meq/gram. Berdasarkan nilai kapasitas tukar kation ini kemudian dihitung kandungan unsur Cs maupun campuran Cs + Ce yang ada dalam resin bekas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pertukaran ion yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem batch. Pertimbangan penggunaan metode ini adalah karena mudah dilakukan, biaya murah, prosesnya lebih sederhana serta tidak membutuhkan banyak resin. Tetapi jika dilakukan dalam skala industri, maka sistem yang digunakan adalah teknik kolom.

Pengamatan secara visual hasil imobilisasi limbah dengan epoksi menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan limbah maka warna blok polimer-limbah lebih kecoklatan, sedangkan untuk polimer tanpa limbah tampak berwarna jernih kekuningan. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kandungan limbah akan diikuti dengan semakin banyaknya resin penukar ion yang digunakan.

Hubungan kandungan limbah terhadap densitas blok polimer-limbah untuk resin bekas I dan II ditunjukkan pada Tabel 4. Tabel 4 memperlihatkan bahwa makin besar kandungan limbah, makin besar pula densitas blok polimer-limbah yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena kenaikan kandungan limbah akan diikuti dengan penurunan jumlah/volume epoksi yang digunakan untuk mengungkung limbah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, serta diikuti dengan kenaikan kandungan unsur Cs maupun campuran Cs + Ce seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Epoksi disusun oleh atom-atom C dan H yang massanya jauh lebih kecil dibandingkan dengan limbah transuranium (Cs dan Ce). Semakin tinggi kandungan limbah maka makin banyak atom-atom berat (Cs dan Ce) yang terkandung dalam resin tersebut, sehingga densitasnya akan semakin besar. Densitas blok polimer-

limbah untuk resin bekas I (Cs) dan resin bekas II (Cs + Ce) pada kandungan limbah yang sama apabila dibandingkan nilainya hampir sama. Hal ini berarti penggantian unsur-unsur ( $Cd^{109}$ ,  $Ce^{144}$ ,  $Ru^{106}$ ,  $Co^{60}$ ,  $Ba^{131}$  dan  $Ra^{226}$ ) dengan Cs maupun Ce tidak terlalu berpengaruh terhadap densitas blok polimer-limbah yang dihasilkan.

Terbentuknya ikatan silang akan mengakibatkan kontraksi volume sehingga densitas polimer akan semakin besar. Hal ini akan nampak pada polimerisasi radiasi karena makin tinggi dosis radiasi akan menaikkan derajat polimerisasi, yang berarti terbentuknya ikatan silang makin banyak [10]. Tetapi pada penelitian ini proses polimerisasi terjadi secara eksotermis sehingga derajat polimerisasi dianggap sama dan tidak berpengaruh terhadap kenaikan densitas.

Tabel 5 menyajikan hubungan kandungan limbah terhadap kuat tekan blok polimer-limbah untuk resin bekas I (Cs) dan resin bekas II (Cs + Ce). Semakin besar kandungan limbah maka semakin kecil kuat tekan blok polimer-limbah yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena kenaikan kandungan limbah (Tabel 2 & 3) akan diikuti dengan penurunan jumlah epoksi yang digunakan. Penambahan bahan yang rapuh seperti Cs dan Ce akan membentuk bahan komposit yang lebih rapuh. Hal ini berarti kenaikan kandungan limbah akan menyebabkan penurunan kuat tekan blok polimer-limbah yang dihasilkan. Kuat tekan blok polimer-limbah untuk resin bekas I (Cs) dan resin bekas II (Cs + Ce) pada kandungan limbah yang sama apabila dibandingkan nilainya hampir sama. Hal ini berarti penggantian unsur-unsur ( $Cd^{109}$ ,  $Ce^{144}$ ,  $Ru^{106}$ ,  $Co^{60}$ ,  $Ba^{131}$  dan  $Ra^{226}$ ) dengan Cs maupun Ce tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat tekan blok polimer-limbah yang dihasilkan.

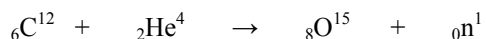
Hubungan kandungan limbah terhadap laju pelindihan radionuklida Cs dari blok polimer-limbah disajikan pada Tabel 6. Makin besar kandungan limbah semakin besar pula laju pelindihan radionuklida Cs dari blok polimer-limbah. Hal ini karena konsentrasi radionuklida dalam rongga antara ikatan polimer semakin besar sehingga perbedaan konsentrasi sebagai gaya dorong (*driving force*) proses difusi menjadi lebih besar. Proses difusi unsur-unsur yang terperangkap diantara kerangka ke dalam air kemungkinannya menjadi lebih besar. Laju pelindihan radionuklida Cs dari blok polimer-limbah untuk resin bekas I nilainya lebih besar

dibanding resin bekas II pada kandungan limbah yang sama. Hal ini karena konsentrasi radionuklida Cs di dalam resin bekas I lebih besar dibanding resin bekas II seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Dalam suatu proses pengolahan limbah ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan yaitu hasil pengolahan yang memenuhi persyaratan, proses sederhana sehingga dapat diterapkan di Instalasi Pengolahan Limbah (IPLR) PTLR-BATAN dan tentunya ekonomis. Kandungan limbah yang besar sudah barang tentu akan lebih ekonomis, namun karakteristik blok polimer-limbah yang dihasilkan cenderung menurun. Demikian pula sebaiknya karakteristik blok polimer-limbah yang baik dapat diperoleh pada proses dengan kandungan limbah yang lebih rendah. Tujuan utama pengolahan limbah radioaktif adalah mengungkung radionuklida dalam bahan matriks tertentu sehingga meminimalkan potensi pelepasan radionuklida ke lingkungan. Blok polimer-limbah dengan kandungan limbah lebih besar dari 20 % berat terjadi kenaikan laju pelindihan radionuklida Cs yang cukup besar sehingga mempunyai potensi pelepasan radionuklida ke lingkungan yang lebih besar, seperti disajikan dalam Tabel 6. Oleh karena itu imobilisasi resin bekas pengolah limbah cair transuranium simulasi dengan epoksi ini akan memberikan karakteristik blok polimer-limbah hasil imobilisasi yang optimum pada kandungan limbah maksimum 20 % berat.

Blok polimer-limbah hasil imobilisasi dengan rasio polimer-limbah yang paling optimum tersebut (kandungan limbah 20 %) selanjutnya dilakukan analisis lebih jauh tentang pengaruh keasaman air pelindih terhadap laju pelindihan radionuklida Cs. Hasil penelitian disajikan dalam Tabel 7. Laju pelindihan radionuklida Cs pada suasana netral (pH 6-7) adalah paling rendah dibanding suasana asam (pH < 5) maupun basa (pH > 9), sedangkan laju pelindihan pada suasana asam adalah menunjukkan nilai terbesar. Hal ini disebabkan karena pada suasana asam dan basa blok polimer-limbah tersebut disamping terjadi pelindihan juga mengalami korosi karena adanya ion-ion  $H^+$  dan  $OH^-$  dalam larutan [11]. Korosi pada polimer mengakibatkan rantai ikatan polimernya rusak, sehingga unsur-unsur yang ada di dalam kerangka polimer lebih mudah lepas.

Untuk pemantapan hasil tersebut selanjutnya perlu diuji ketahanannya terhadap radiasi  $\alpha$  dan  $\gamma$ . Polimer epoksi merupakan senyawa organik dengan rantai C yang stabil dan dapat terkena reaksi inti dengan partikel  $\alpha$  yang dipancarkan oleh aktinida dalam limbah. Persamaan reaksi inti tersebut adalah sebagai berikut [12] :



Reaksi inti mengakibatkan kerusakan polimer yang dapat dideteksi dari perubahan densitas, kekuatan tekan dan laju pelindihannya. Kenaikan kandungan limbah juga menaikkan laju paparan radiasi  $\gamma$  yang dipancarkan oleh hasil belah dalam limbah. Radiasi  $\gamma$  mengakibatkan radiolisis terhadap polimer. Efek radiasi ini membatasi kandungan limbah dalam hasil imobilisasi.

#### KESIMPULAN

Makin tinggi kandungan limbah dalam epoksi, menaikkan densitas dan laju pelindihannya, sedangkan kuat tekannya semakin menurun. Imobilisasi resin bekas pengolah limbah cair transuranium simulasi menggunakan epoksi dengan kandungan limbah 20 % berat, densitas 0,90 – 0,92 g/cm<sup>3</sup>, kuat tekan 7,64 – 8,15 kN/cm<sup>2</sup> dan laju pelindihan 0,20 – 0,27 g/cm<sup>2</sup>hari sebagai hasil terbaik. Laju pelindihan radionuklida Cs paling tinggi terjadi pada suasana asam (pH < 5), sedangkan pada suasana netral (pH 6-7) laju pelindihannya adalah paling rendah. Tingginya laju pelindihan radionuklida Cs karena blok polimer-limbah mengalami korosi pada suasana asam akibat adanya ion-ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> dalam larutan. Korosi pada polimer mengakibatkan rantai ikatan polimernya rusak, sehingga unsur-unsur yang ada di dalam kerangka polimer lebih mudah lepas. Selanjutnya untuk pemantapan hasil tersebut perlu diuji ketahanannya terhadap radiasi  $\alpha$  dan  $\gamma$  yang dipancarkan oleh radionuklida dalam limbah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1 IAEA, "Characteristics of Solidified High Level Waste Product", Technical Report Series No. 187, IAEA, Vienna, 1979.
- 2 P2TBDU, "Laporan Analisis Radioaktivitas Unsur dari Radiometalurgi", P2TBDU, Serpong, 2001.
- 3 MARTONO H., "Pengolahan Limbah Cair Hasil Sampung Pengujian Bahan Bakar Pasca Iradiasi Dari Instalasi Radiometalurgi", Prosiding Seminar Nasional XV Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Hotel Grand Mercure Yogyakarta, 7 Desember 2006.
- 4 IAEA, "Treatment of Alpha Bearing Waste", Technical Report Series No. 287, IAEA, Vienna, 1988.
- 5 AISYAH, "Penggunaan Beberapa Jenis Polimer Untuk Imobilisasi Limbah Transuranium", Hasil Penelitian dan Kegiatan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, 2004.
- 6 TATA SURDIA MS. and SHINROKU SAITO, "Pengetahuan Bahan Teknik", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1992.
- 7 JOEL R. FRIED, "Polymer Science and Technology", Prentice Hall Inc. USA, 1995.
- 8 VAN VLACK, L.H., dan SRIATI DJAPRIE, "Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)", Erlangga, Jakarta, 1986.
- 9 SALIMIN, Z., ZAMRONI, H., GUNANDJAR, dan PURNOMO, S., "Penggunaan Resin Penukar Ion Ganda Alumino Siliko Fosfat Untuk Demineralisasi Air Pendingin Reaktor", Prosiding Seminar Nasional XVI "Kimia dalam Industri dan Lingkungan", Hotel Grand Mercure Yogyakarta, 6 Desember 2007.
- 10 MARTONO H., "Imobilisasi Limbah Cair Transuranium Simulasi Dengan Polimer Stiren Secara Iradiasi Sinar Gamma", Laporan Hasil Penelitian 1993/1994, Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif, 1994.
- 11 IAEA, "Immobilization of Low and Intermediate Level Radioactive Waste With Polymers", Technical Report Series No. 289, IAEA, Vienna, 1988.
- 12 MARTONO H., "Imobilisasi Limbah Cair Transuranium Simulasi Dengan Polimer Stiren Divinilbenzena", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, Yogyakarta, 25-27 April 1995.

**Tabel 1.** Unsur radionuklida dalam limbah cair dari IRM [3]

No.	Radionuklida	Aktivitas Jenis (Bq/ml)
1.	Cd <sup>109</sup>	1,800
2.	Ce <sup>144</sup>	1,200
3.	Ru <sup>106</sup>	0,300
4.	Cs <sup>134</sup>	2,600
5.	Cs <sup>137</sup>	116,000
6.	Co <sup>60</sup>	0,600
7.	Co <sup>57</sup>	-
8.	Np <sup>237</sup>	-
9.	Ba <sup>131</sup>	0,066
10.	Ra <sup>226</sup>	0,042
11.	Eu <sup>154</sup>	-
12.	Br <sup>82</sup>	-
<b>Aktivitas Total</b>		<b>122,608</b>

**Tabel 2.** Kandungan unsur Cs dan campuran Cs + Ce dalam resin bekas berdasarkan berat resin yang digunakan, dengan nilai kapasitas tukar kation 1,5 meq/gram dalam kondisi jenuh

Waste Loading (%)	Berat Resin (gram)	Resin Bekas I		Resin Bekas II			
		Cs	Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Cs	Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Ce	CeO <sub>2</sub>
0	0	-	-	-	-	-	-
10	5	0,9975	1,2225	0,8 x 10 <sup>-3</sup>	0,00098	0,9974	1,2253
20	10	1,9950	2,4450	1,6 x 10 <sup>-3</sup>	0,00196	1,9947	2,4506
30	15	2,9925	3,6675	2,4 x 10 <sup>-3</sup>	0,00294	2,9921	3,6759
40	20	3,9900	4,8900	3,2 x 10 <sup>-3</sup>	0,00392	3,9894	4,9000
50	25	4,9825	6,1125	4 x 10 <sup>-3</sup>	0,0049	4,9868	6,1257

**Tabel 3.** Perbandingan komposisi limbah-polimer untuk masing-masing kandungan limbah (*waste loading*) dengan berat total 50 gram

Kandungan limbah (% berat)	Berat Resin Bekas (gram)	Berat Epoksi (gram)	Berat Hardener (gram)
0	-	25	25
10	5	22,5	22,5
20	10	20	20
30	15	17,5	17,5
40	20	15	15
50	25	12,5	12,5

**Tabel 4.** Pengaruh kandungan limbah terhadap densitas blok polimer-limbah

Kandungan Limbah (% berat)	Densitas Blok Polimer-Limbah (gram/cm <sup>3</sup> )	
	Resin Bekas I	Resin Bekas II
0	0,9042	0,9013
10	0,9097	0,9069
20	0,9237	0,9035
30	1,0879	0,9792
40	1,0903	1,0718
50	1,1373	1,1408

**Tabel 5.** Pengaruh kandungan limbah terhadap kuat tekan blok polimer-limbah

Kandungan Limbah (% berat)	Kuat Tekan Blok Polimer-Limbah (kN/cm <sup>2</sup> )	
	Resin Bekas I	Resin Bekas II
0	11,2046	11,2046
10	8,6581	9,6767
20	8,1488	7,6395
30	7,4358	7,1302
40	6,1116	6,6209
50	5,0930	6,6209

**Tabel 6.** Pengaruh kandungan limbah terhadap laju pelindihan radionuklida Cs dari blok polimer-limbah yang terbentuk

Kandungan Limbah (% berat)	Laju Pelindihan Radionuklida Cs dari Blok Polimer-Limbah (gram/cm <sup>2</sup> .hari)	
	Resin Bekas I	Resin Bekas II
0	-	-
10	0,166280	0,199564
20	0,275018	0,204814
30	5,545413	0,207086
40	22,50682	2,484565
50	49,25252	7,294638

**Tabel 7.** Pengaruh keasaman (pH) air pelindih terhadap laju pelindihan radionuklida Cs dari blok polimer-limbah yang terbentuk untuk resin bekas II.

Keasaman (pH) Air Pelindih	Laju Pelindihan Radionuklida Cs (gram/cm <sup>2</sup> .hari)
2	5,092926
5	0,476149
7	0,204814
9	0,570253
12	0,565364