

## PENGOLAHAN LIMBAH PENDUKUNG INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

Herlan Martono, Aisyah, Wati  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif

### ABSTRAK

**PENGOLAHAN LIMBAH PENDUKUNG INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF.** Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif dirancang hanya untuk mengolah limbah aktivitas rendah. Pada perkembangan selanjutnya dilakukan pengujian bahan bakar pasca iradiasi di Instalasi Radiometalurgi yang menimbulkan limbah cair transuranium. Telah dilakukan penelitian imobilisasi limbah cair transuranium dengan polimer epoksi menggunakan absorber zeolit, dan bentonit, serta imobilisasi resin penukar ion bekas yang mengandung limbah transuranium. Polimerisasi dilakukan dengan mencampur resin epoksi dan *hardener* pada rasio 1:1, kemudian ditambah absorber yang mengandung limbah cair simulasi. atau resin penukar ion bekas 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 pelindihannya. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat uji tekan Paul Weber dan laju pelindihan 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 pelindihannya semakin besar. Berdasarkan *densitas*, kuat tekan dan laju pelindihan, maka hasil terbaik diperoleh untuk blok polimer-limbah dengan absorber zeolit pada kandungan limbah 30 % berat.

### ABSTRACT

**TREATMENT OF WASTE FOR SUPPORTING THE RADIOACTIVE WASTE TREATMENT INSTALLATION.** *Radioactive Waste Treatment Installation was designed only for treatment of low level radioactive waste. In the further development, testing of irradiated spent fuel are conducted in Radiometallurgy Installation arising transuranic liquid waste. The research of immobilization of transuranic liquid waste using zeolite and bentonite as waste absorber, and immobilization of spent ion exchange resin containing transuranic waste using epoxy resin had been conducted. Polymerization was done by mix epoxy resin and hardener at ratio 1:1, then it was added absorber containing the simulated transuranic liquid waste or spent ion exchange resin. The waste loading in the polymer were made various are 0, 10, 20, 30, 40, and 50 % weight. Waste-polymer blocks as function of waste loading were determined density, compressive strength, and leaching rate. The compressive strength were determined by Paul Weber apparatus and the leaching rate were determined by Soxhlet apparatus at 100 °C, 1 atm for 6 hours. The higher of waste loading in the polymer as immobilization product cause the higher of density, and the lower of compressive strength, but the higher of leaching rate. Based on density, compressive strength and leaching rate test, the best immobilization was obtained to waste-polymer blok with zeolite as the absorber in waste loading of 30 %.*

### PENDAHULUAN

Limbah Cair Aktivitas Tinggi (LCAT) umumnya ditimbulkan pada ekstraksi siklus I proses olah ulang bahan bakar nuklir bekas, sedangkan Limbah Cair Transuranium (LCTRU) ditimbulkan pada ekstraksi siklus II proses tersebut[1]. Proses olah ulang bertujuan untuk mengambil sisa uranium yang tidak terbakar dan plutonium yang terjadi dalam bahan bakar nuklir bekas. Uranium dan plutonium yang diambil dari bahan bakar bekas dapat diproses sebagai bahan bakar campuran (UO<sub>2</sub>, PuO<sub>2</sub>) dalam reaktor pembiak cepat (*fast breeder reactor*).

Komposisi LCAT, komponen utama adalah hasil belah (*fission product*) yang terkontaminasi aktinida. Pada umumnya LCTRU berupa pelarut bekas dari proses

olah-ulang bahan bakar nuklir bekas. Limbah tersebut banyak mengandung aktinida dan sedikit hasil belah, oleh karena itu LCTRU memiliki toksisitas yang tinggi dan berumur panjang. Demikian pula LCAT juga berumur panjang.

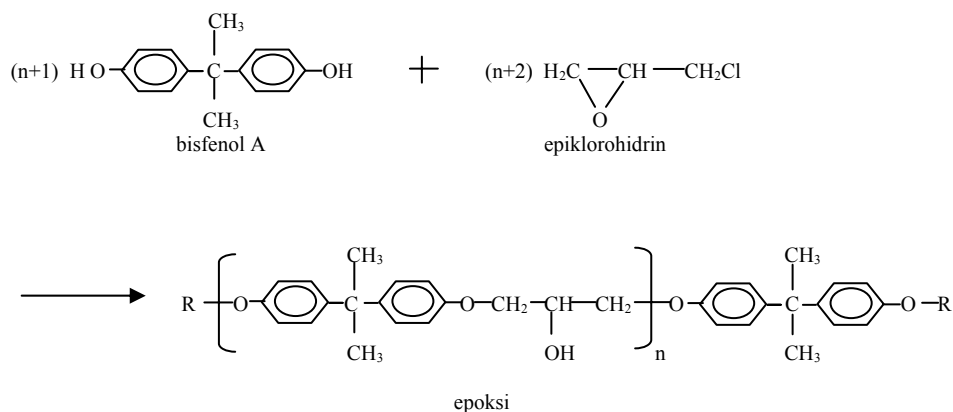
Di Instalasi Radiometalurgi (IRM) melakukan uji pasca iradiasi terhadap bahan bakar yang diiradiasi dengan pengkayaan U<sup>235</sup> 20 %. Hasil iradiasi bahan bakar dalam reaktor adalah hasil belah dan aktinida. Pada pengujian di IRM, bahan bakar teriradiasi ini dilarutkan dalam HNO<sub>3</sub> 6 - 8 N. Supaya sesuai dengan definisi LCAT dan LCTRU dari proses olah ulang bahan bakar bekas, maka hasil belah dan aktinida dalam limbah cair dari IRM harus dipisahkan, sehingga diperoleh LCAT dan LCTRU [2].

Data dari IRM aktivitas total limbah cair, yaitu 122,608 Bq/ml dengan radionuklida dominan Cs<sup>137</sup>[3]. Berdasarkan data tersebut, maka dipelajari aktivitas limbah cair sebagai fungsi waktu untuk menentukan bahan matriks yang digunakan dalam proses imobilisasi. Pada pengujian menunjukkan bahwa limbah cair mengandung aktinida berumur paro panjang. Pengelolaan limbah tersebut perlu waktu lebih dari 300 tahun. Semen yang mengalami degradasi setelah 300 tahun tidak dapat digunakan untuk imobilisasi limbah cair yang berumur panjang. Bahan gelas terlalu mahal prosesnya untuk imobilisasi limbah IRM yang aktivitasnya tidak setinggi aktivitas LCAT dari proses olah ulang yang perlu waktu pengelolaan jutaan tahun. Polimer merupakan bahan yang cocok untuk imobilisasi limbah cair dari IRM.

Imobilisasi LCTRU secara langsung dengan resin epoksi tidak dapat terjadi karena kandungan air tinggi. Oleh karena itu pada imobilisasi LCTRU digunakan absorber bentonit dan zeolit atau radionuklida dalam LCTRU diserap oleh

resin penukar ion. Resin bekas diimobilisasi dengan polimer. Pada polimerisasi terjadi perubahan fase cair dan pasta menjadi padat. Proses ini disebut *curing* atau pengeringan. Proses ini terjadi secara fisika karena adanya penguapan pelarut atau medium pendispersi. *Curing* dapat juga terjadi karena perubahan kimia, yaitu terjadinya reaksi antara molekul-molekul yang relatif kecil dengan fase cair atau pasta membentuk jaringan molekul yang lebih besar, padat, dan tidak mudah larut.

Pada penelitian ini digunakan reaksi polimerisasi dengan *curing* bersifat eksotermis, karena proses ini dapat dilakukan dengan peralatan sederhana dan biaya yang murah. Kadang-kadang *curing* perlu waktu lama[4]. Polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin epoksi, yaitu jenis polimer yang banyak digunakan sebagai material struktur. Resin epoksi terbentuk dari reaksi antara epiklorohidrin dengan bifenilpropana (bisfenol A), seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**[5].



**Gambar 1.** Pembentukan epoksi oleh reaksi bisfenol A dan epiklorohidrin

Resin epoksi memiliki sifat unggul, diantaranya kekuatan mekanik yang baik, tahan terhadap bahan kimia, dan mudah diproses, sehingga dipilih untuk imobilisasi limbah radioaktif.

Hasil imobilisasi LCTRU dipengaruhi oleh kandungan limbah atau *waste loading* (WL) dan bahan aditif yang digunakan untuk menyerap air limbah tersebut.

Bentonit merupakan batuan *clay* yang mengandung mineral smektit sebagai

komponen utama, sehingga sifat konduktivitas hidraulik bentonit rendah. Koefisien difusi merupakan parameter penting untuk unjuk kerja bentonit dalam proses imobilisasi. Zeolit merupakan senyawa alumino silikat dengan struktur sangkar, biasanya diperoleh dari alam yang masih tercampur dengan mineral lain, seperti kalsit, feldspar, gipsum, dan kuarsa. Komposisi kimia zeolit mempengaruhi kemampuan menyerap air, sehingga unjuk kerja zeolit dalam proses imobilisasi juga

dipengaruhi oleh komposisi kimianya. Zeolit yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari daerah Lampung. Resin penukar ion tidak menyerap air, tetapi berfungsi untuk mengikat ion cerium.

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

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

dimana:

$\rho$  = densitas (g/cm<sup>3</sup>),  
 $m$  = massa sampel (g),  
 $V$  = volume sampel (cm<sup>3</sup>).

Kuat tekan adalah gaya maksimum untuk menghancurkan benda uji dibagi luas permukaan yang mendapat tekanan. Kuat tekan polimer-limbah merupakan parameter untuk evaluasi karena jatuh atau mengalami benturan. Kuat tekan bahan dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

dimana:

$\sigma_c$  = kuat tekan (kN/cm<sup>2</sup>),  
 $P_{maks}$  = beban tekanan maksimum (kN),  
 $A$  = luas penampang (cm<sup>2</sup>).

Laju pelindihan adalah salah satu karakteristik polimer-limbah untuk evaluasi hasil imobilisasi, karena tujuan akhir imobilisasi limbah memperkecil potensi terlepasnya radionuklida yang ada dalam limbah itu ke lingkungan. Laju pelindihan dalam hal ini diasumsikan sebagai korosi, yaitu lepasnya unsur kerangka polimer ditambah laju pelindihannya sendiri, yaitu lepasnya sejumlah unsur limbah dari blok polimer-limbah. Laju pelindihan dipercepat digunakan pada penelitian jangka pendek untuk mengetahui pengaruh beberapa parameter dan mengevaluasi kualitas hasil imobilisasi. Pengujian menggunakan alat Soxhlet pada suhu 100 °C dan tekanan 1 atm selama 6 jam. Dalam penelitian laju pelindihan ditentukan dengan mengukur

kehilangan berat sampel[6,7]. Laju pelindihan dinyatakan dengan persamaan :

$$L = \frac{W_0 - W_t}{A \cdot t} \quad (3)$$

dimana:

$L$  = laju pelindihan (g. cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>),  
 $W_0$  = berat sampel mula - mula (g),  
 $W_t$  = berat sampel setelah dilindih selama  $t$  jam (g),  
 $A$  = luas permukaan (cm<sup>2</sup>),  
 $t$  = waktu lindih (hari).

## TATA KERJA

### Bahan

Limbah radioaktif cair dari IRM aktivitas jenis 3,314 x 10<sup>-3</sup> μCi/ml dan resin epoksi EPOSIR 7120, cesium karbonat (Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dari Merck dan cerium (IV) oksida (CeO<sub>2</sub>) dari Sigma Chem.Co. Absorber yang digunakan bentonit (H<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>Si, FW 180,06, 80 - 100 mesh) dari Aldrich dan zeolit dari Lampung dengan ukuran 40 - 60 mesh, dan resin penukar ion amberlite IR 120 Na dari Rohm and Haas France S.A.S.

### Metode

Untuk menentukan jenis limbah dilakukan dengan cara mengencerkan 7 μl limbah cair dari IRM dengan aktivitas 122.608 Bq/ml (3,314 x 10<sup>-3</sup> μCi/ml) ke dalam air bebas mineral, sehingga volume 500 ml. Pencacahan larutan dilakukan dengan alat *cacah radiasi gamma Multi Channel Analyzer* (MCA). Data yang diperoleh dibuat grafik aktivitas limbah versus waktu peluruhan kemudian dibandingkan dengan grafik aktivitas Cs<sup>137</sup> versus waktu peluruhan secara teoritis.

Pembuatan limbah cair simulasi dilakukan dengan melarutkan Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan CeO<sub>2</sub> (sesuai perbandingan data limbah) dalam air bebas mineral. Limbah cair simulasi yang terbentuk dicampur dengan absorber dalam berbagai rasio berat limbah/absorber yaitu 1/1, 2/1, 3/1, 4/1, dan 5/1 untuk mencari rasio optimum limbah/absorber. Sebagai pengungkungnya digunakan resin epoksi EPOSIR 7120 yang dicampur dengan bahan pengeras (*hardener*) dengan perbandingan 1:1 (perbandingan sesuai dengan petunjuk aplikasi). Rasio optimum limbah/absorber dicari pada *waste*

loading (WL) 20 %. Pengadukan campuran dilakukan selama 10 menit, kemudian campuran yang telah homogen dimasukkan ke dalam cetakan silinder yang berukuran tinggi 24,5 mm dan diameter 29,5 mm dan dibiarkan mengeras selama 8 jam.

Pengukuran densitas dan pengujian kuat tekan serta laju pelindihan dilakukan pada sampel yang telah mengeras. Pengukuran densitas dilakukan dengan cara mengukur tinggi dan diameter sampel dengan jangka sorong serta menimbang polimer-limbah yang telah berulang-ulang dimasukkan dalam oven dan desikator sampai diperoleh berat konstan. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat Paul Weber dan laju pelindihan dengan alat Soxhlet pada 100 °C, 1 atm. Kecepatan aliran atau laju kondensasi pada alat Soxhlet dijaga tetap pada 300 cm<sup>3</sup>/jam.

Pembuatan limbah cair simulasi dengan berbagai WL yaitu 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat dilakukan setelah rasio optimum limbah/absorber ditentukan. Hasil imobilisasi pada berbagai WL tersebut ditentukan densitas, kuat tekan dan laju pelindihannya.

Limbah simulasi dicampur dengan resin penukar ion amberlit IR 120 Na. Setelah resin menjadi jenuh, resin dikeringkan. Tahap selanjutnya resin dicampur dengan polimer dengan berbagai waste loading (kandungan limbah) yaitu 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Campuran diaduk selama 10 menit agar homogen, kemudian dimasukkan dalam cetakan berbentuk silinder berukuran 20 mm dan diameter 25 mm. Untuk mencari

rasio optimum limbah-resin penukar ion dan polimer, ditentukan densitas, kuat tekan, dan laju pelindihannya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data komposisi limbah radioaktif cair dari IRM ditunjukkan pada Tabel 1. Dari data tersebut radionuklida yang dominan adalah Cs<sup>137</sup>. Pengaruh radionuklida yang lain (kemungkinan dari data komposisi limbah terdapat aktinida atau radionuklida umur panjang yang tidak terdeteksi) dipelajari dari percobaan aktivitas limbah sebagai fungsi waktu peluruhan.

Hubungan aktivitas limbah cair IRM hasil pengukuran sebagai fungsi waktu dan aktivitas Cs<sup>137</sup> fungsi waktu dari perhitungan secara teoritis ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik aktivitas limbah sebagai fungsi waktu memperlihatkan bahwa aktivitas limbah cair IRM hasil analisis meluruh lebih lama dengan  $\lambda_{\text{rata}}$  sebesar  $9,2245 \times 10^{-4}$  /bulan ( $t_{1/2} = 62,580$  tahun) dibandingkan dengan aktivitas Cs<sup>137</sup> secara teoritis dengan  $\lambda$  sebesar  $1,925 \times 10^{-3}$  /bulan ( $t_{1/2} = 30$  tahun). Hal ini menunjukkan bahwa limbah IRM selain Cs<sup>137</sup> juga mengandung radionuklida lain yang tidak terdeteksi dengan umur paro yang lebih panjang.

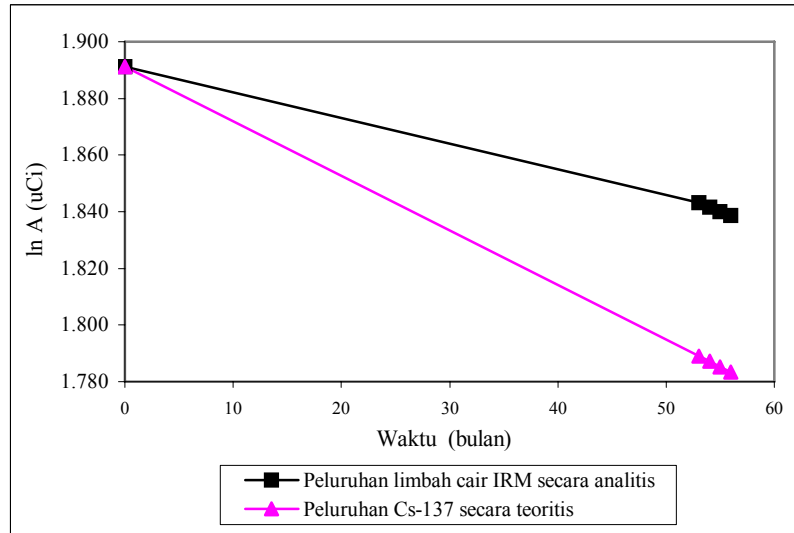
Pengamatan secara visual hasil imobilisasi limbah IRM dengan resin epoksi menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan limbah maka warna polimer-limbah hasil imobilisasi lebih keabuan, sedangkan untuk polimer tanpa limbah tampak warna kuning. Hal ini terjadi karena adanya penambahan cairan limbah simulasi yang mengandung aktinida[8].

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

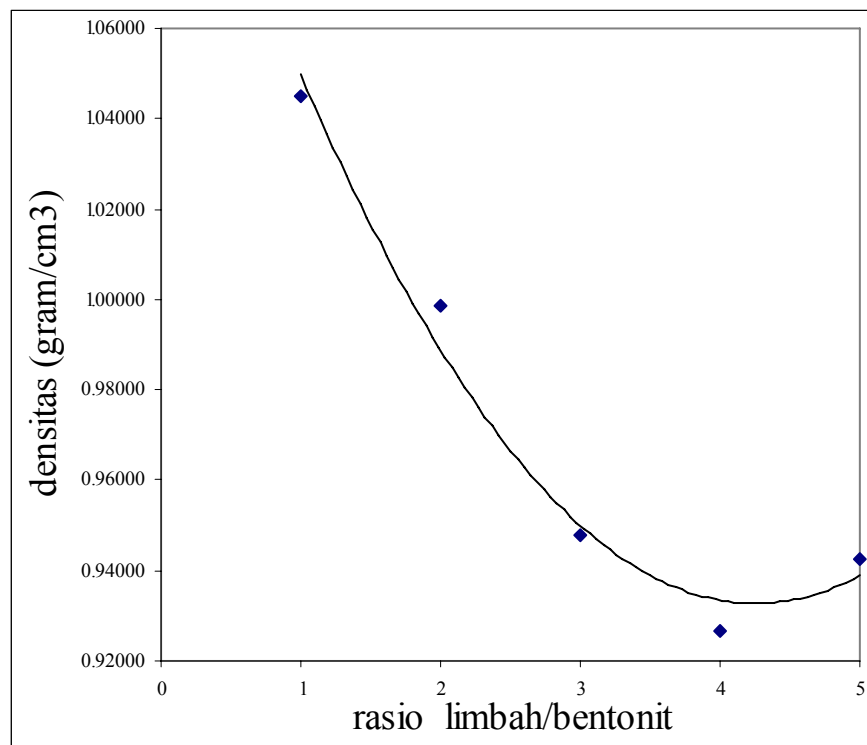
No	Radionuklida	Aktivitas Jenis (Bq/ml)
1.	Cd <sup>109</sup>	1,800
2.	Ce <sup>144</sup>	1,200
3.	Ru <sup>106</sup>	0,300
4.	Cs <sup>134</sup>	2,600
5.	Cs <sup>137</sup>	116,000
6.	Co <sup>60</sup>	0,600
7.	Co <sup>57</sup>	-
8.	Np <sup>237</sup>	-
9.	Ba <sup>131</sup>	0,066
10.	Ra <sup>226</sup>	0,042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

Rasio optimum limbah/absorber ditentukan pada WL 20 %, karena WL tersebut pada umumnya terdapat dalam hasil imobilisasi.

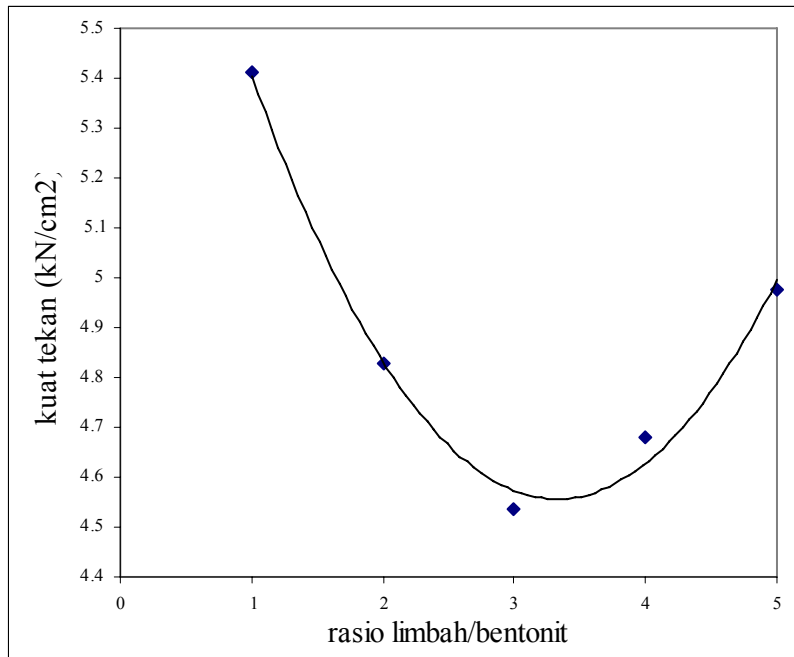
Penentuan rasio optimum limbah/bentonit untuk polimer-limbah didasarkan pada **Gambar 3, 4, dan 5.**



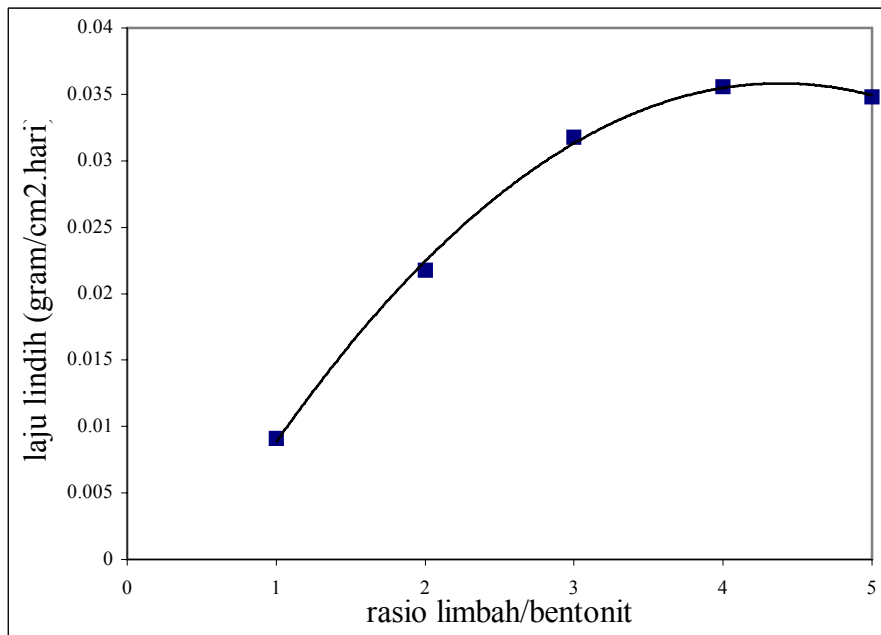
**Gambar 2.** Grafik logaritma aktivitas limbah cair IRM sebagai fungsi waktu.



**Gambar 3.** Pengaruh rasio limbah/bentonit dengan WL 20 % terhadap densitas



**Gambar 4.** Pengaruh rasio limbah/bentonit dengan WL 20 % terhadap kuat tekan.

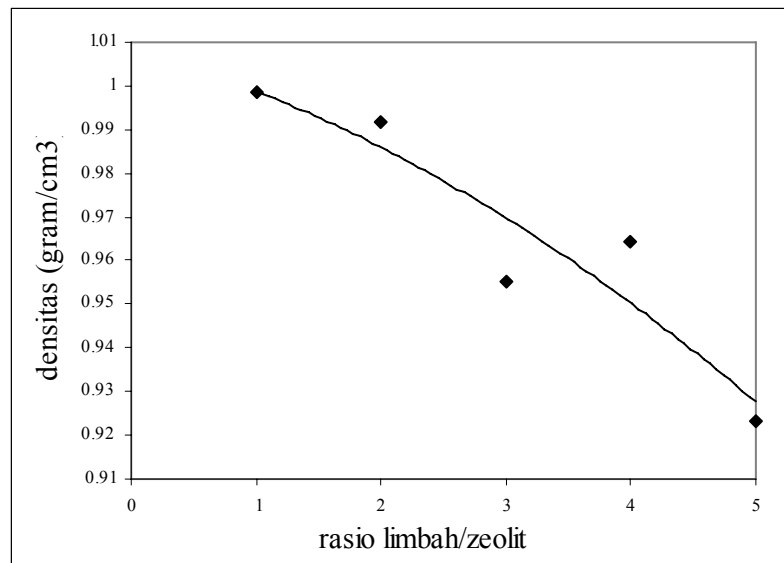


**Gambar 5.** Pengaruh rasio limbah/bentonit dengan WL 20 % terhadap laju pelindihan.

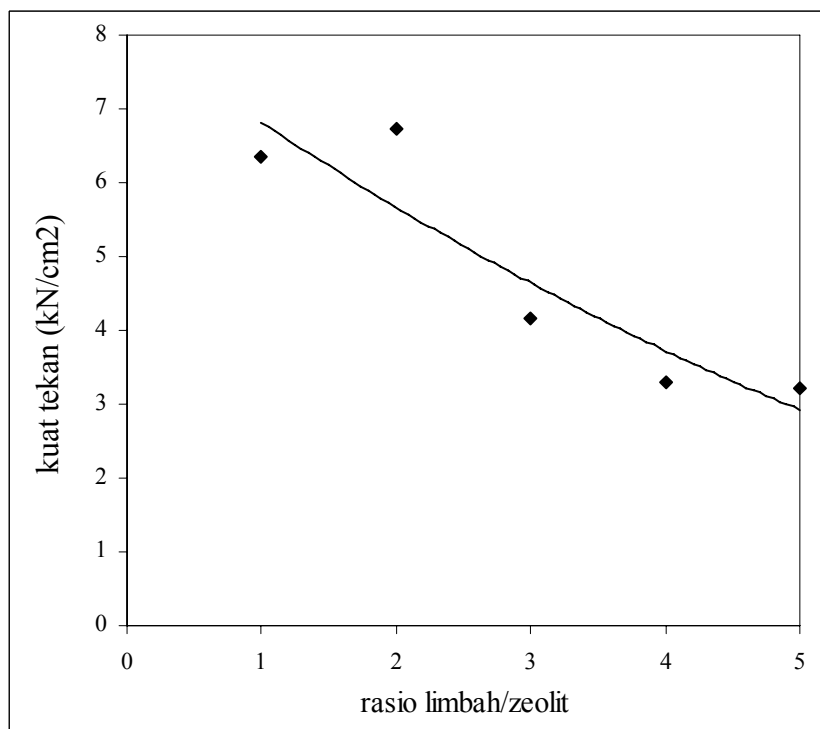
Pada **Gambar 3**, **4**, dan **5**, rasio limbah/absorber 1/1 merupakan rasio optimum untuk polimer-limbah dengan absorber bentonit, karena pada rasio itu menunjukkan densitas dan kuat tekan

maksimum, sedangkan laju pelindihan minimum.

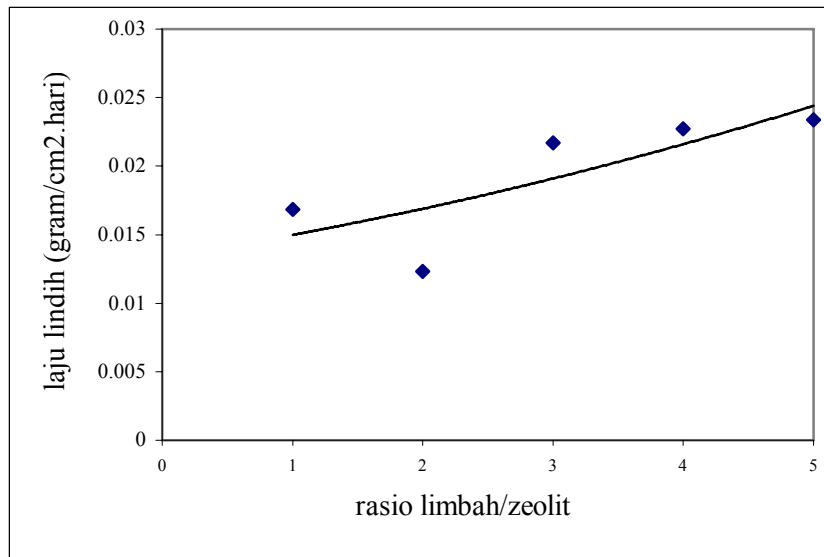
Penentuan rasio optimum limbah/zeolit untuk polimer-limbah didasarkan **Gambar 6**, **7**, dan **8**.



**Gambar 6.** Pengaruh rasio limbah/zeolit dengan WL 20 % terhadap densitas



**Gambar 7.** Pengaruh rasio limbah/zeolit dengan WL 20 % terhadap kuat tekan.

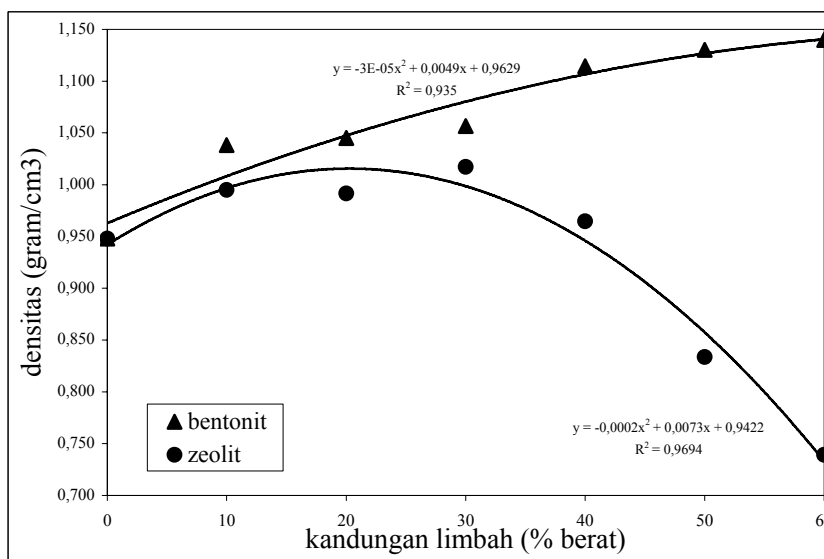


**Gambar 8.** Pengaruh rasio limbah/zeolit dengan WL 20 % terhadap laju pelindihan

Berdasarkan **Gambar 6, 7, dan 8**, rasio 2/1 merupakan rasio optimum limbah/zeolit untuk polimer-limbah dengan absorber zeolit, karena pada rasio 2/1 menunjukkan densitas dan kuat tekan yang maksimum, sedangkan laju pelindihannya minimum.

Hubungan WL dengan absorber bentonit dan zeolit terhadap densitas polimer-limbah ditunjukkan pada **Gambar 9**. Semakin besar WL, semakin besar densitasnya karena persentase radionuklida berat dalam polimer epoksi semakin besar.

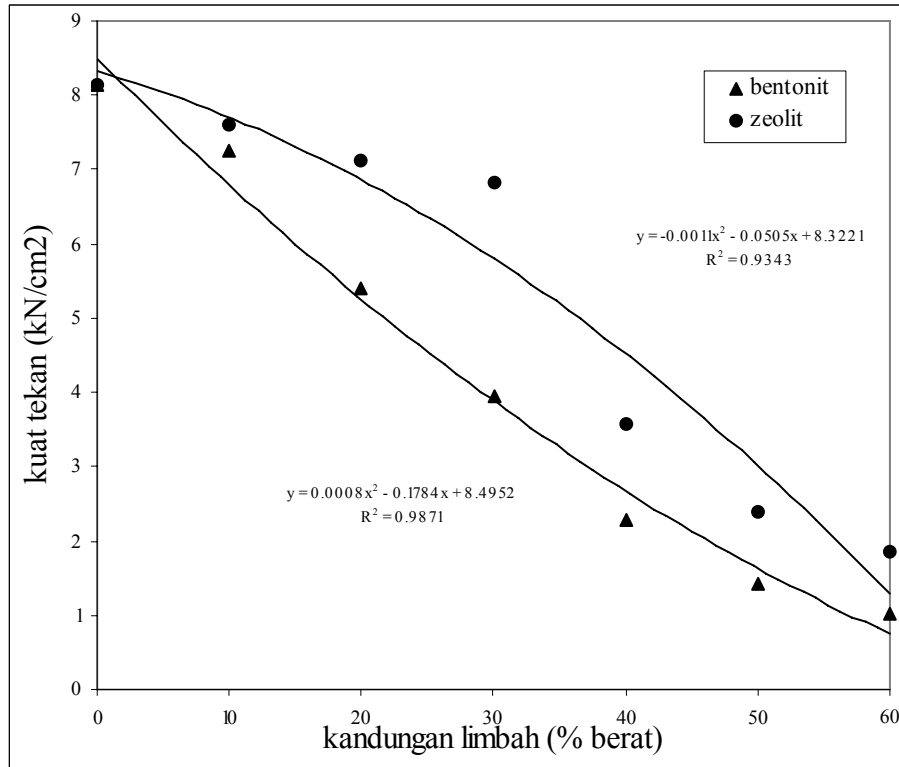
Persentase WL yang semakin besar, mengakibatkan persentase polimer kecil, sehingga densitas polimer makin besar. Pada penggunaan absorber zeolit setelah WL 30 % densitas menurun. Hal ini disebabkan karena kurang baiknya absorber zeolit untuk menyerap limbah cair, sehingga masih ada air yang harus diikat oleh polimer. Air yang tidak terikat oleh polimer keluar dari blok polimer-limbah setelah selesai *curing*. Oleh karena itu, semakin banyak WL, maka massa blok polimer-limbah semakin berkurang.



**Gambar 9.** Pengaruh kandungan limbah dengan absorber bentonit dan zeolit terhadap densitas blok polimer-limbah (rasio limbah/bentonit 1/1 dan rasio limbah zeolit 2/1)

Hubungan kandungan limbah dengan absorber bentonit dan zeolit terhadap kuat tekan polimer-limbah ditunjukkan pada **Gambar 10**. Pengujian kuat tekan pada polimer-limbah dengan absorber bentonit

maupun zeolit menunjukkan bahwa semakin besar WL, maka semakin kecil kuat tekannya. Hal ini terjadi karena terjadi komposit polimer epoksi, sehingga terjadi rapuh dan kekuatan tekannya semakin turun.



**Gambar 10.** Pengaruh kandungan limbah dengan absorber bentonit dan zeolit terhadap kuat tekan blok polimer-limbah

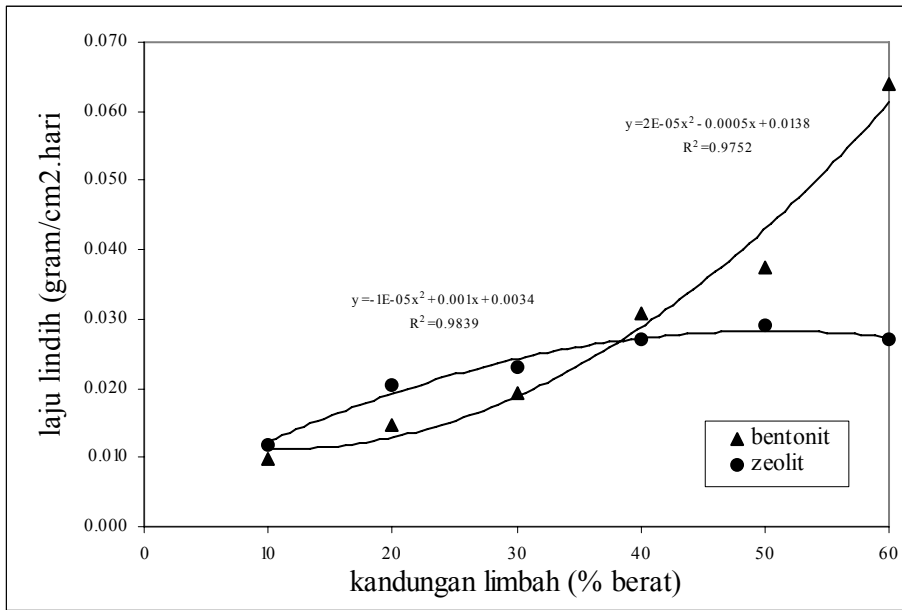
Hubungan WL dengan absorber bentonit dan zeolit terhadap laju pelindihan polimer-limbah ditunjukkan pada **Gambar 11**. Semakin besar WL semakin besar laju pelindihan. Hal ini karena konsentrasi radionuklida dalam rongga antara ikatan polimer semakin besar, sehingga beda konsentrasi sebagai gaya dorong proses difusi lebih besar. Percobaan dengan WL 50 dan 60 % berat, warna air lindih menjadi keruh karena adanya intrusi air ke dalam blok polimer limbah sehingga melarutkan bentonit dan zeolit dari polimer-limbah. Pada WL tersebut polimer-limbah dengan absorber bentonit memiliki laju pelindihan yang tinggi, karena bentonit mengalami *swelling*.

Berdasarkan **Gambar 9**, **10**, dan **11**, maka polimer-limbah dengan absorber

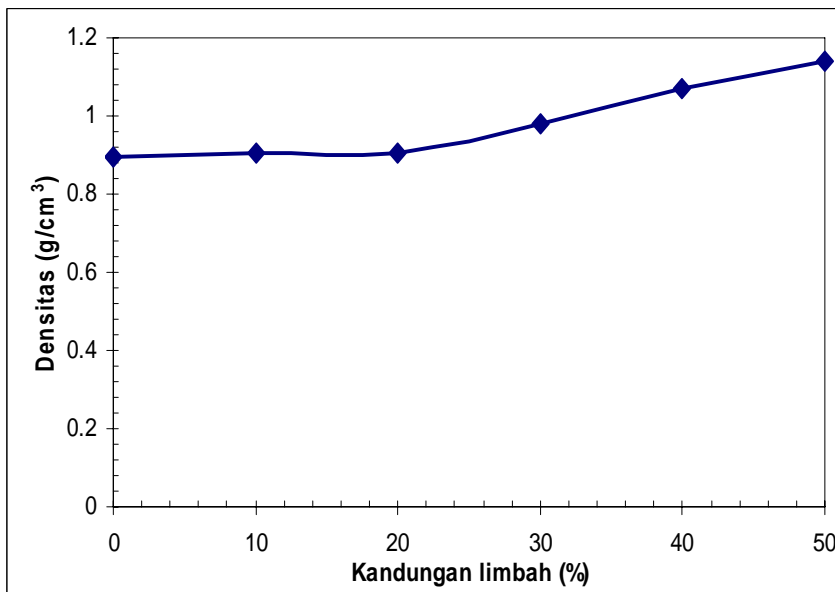
bentonit pada WL 20 % berat merupakan hasil imobilisasi terbaik, sedangkan dengan absorber zeolit pada WL 30 % berat. Densitas akan mengalami penurunan drastis setelah WL 30 %, walaupun kuat tekan WL 30 % lebih kecil daripada WL 20 %.

Hubungan pengaruh kandungan limbah resin bekas terhadap densitas polimer-limbah ditunjukkan pada **Gambar 12**. Dari gambar nampak bahwa semakin tinggi kandungan limbah, maka densitasnya makin tinggi.

Kenaikan nilai densitas ini dipengaruhi oleh makin banyaknya atom-atom berat karena makin meningkatnya kandungan limbah resin penukar ion bekas dalam polimer.



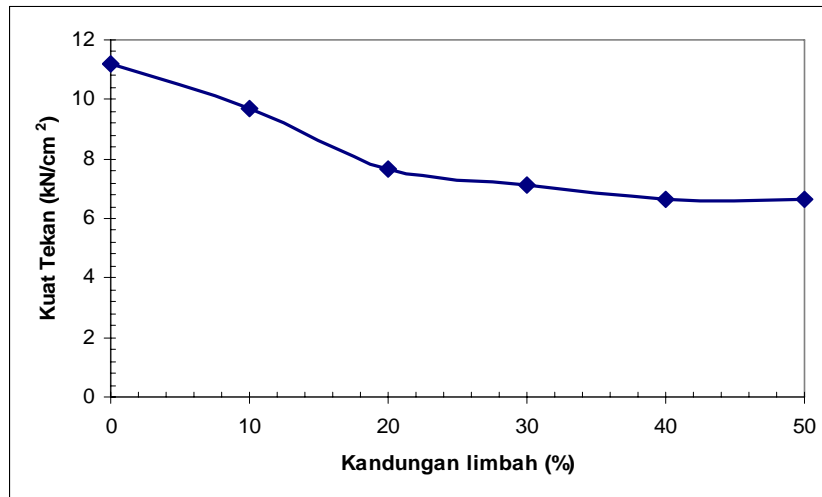
**Gambar 11.** Pengaruh kandungan limbah dengan absorber bentonit dan zeolit terhadap laju pelindihan polimer-limbah



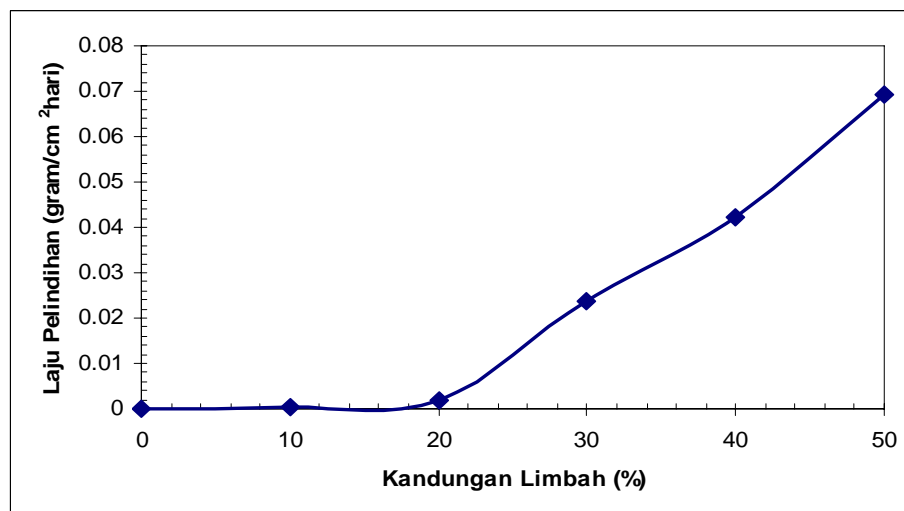
**Gambar 12.** Grafik pengaruh kandungan limbah resin penukar ion bekas terhadap densitas polimer-limbah.

Hubungan kandungan limbah resin penukar ion bekas terhadap kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 13. Pada gambar tersebut nampak bahwa makin besar kandungan limbah, maka makin kecil kuat

tekannya. Hal ini terjadi karena polimer epoksi dan resin bekas membentuk komposit, yang membuat makin rapuhnya polimer.



**Gambar 13.** Grafik pengaruh kandungan limbah resin penukar ion bekas terhadap kuat tekan polimer-limbah.



**Gambar 14.** Grafik pengaruh kandungan limbah resin penukar ion bekas terhadap laju pelindihan polimer-limbah.

Hubungan kandungan limbah resin penukar ion bekas terhadap laju pelindihan ditunjukkan pada **Gambar 14**. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kandungan limbah, maka semakin besar pula laju pelindihannya. Hal ini karena konsentrasi radionuklida antara ikatan polimer yang semakin besar, sehingga beda konsentrasi sebagai gaya dorong proses difusi menjadi lebih besar.

Berdasarkan pengujian densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan, maka polimer-

limbah dengan kandungan limbah resin bekas 20 % merupakan komposisi yang optimum, karena untuk kandungan limbah lebih daripada 20 % berat, laju pelindihannya sudah tinggi (lebih besar daripada  $10^{-2}$  gram/cm<sup>2</sup>.hari).

Dari ketiga proses yaitu imobilisasi LCTRU dengan polimer epoksi dan absorber bentonit, imobilisasi LCTRU dengan polimer epoksi dan absorber zeolit, dan imobilisasi resin penukar ion bekas penyerap LCTRU, maka hasil terbaik adalah

imobilisasi LCTRU dengan polimer epoksi dengan absorber zeolit karena WL 30 %.

#### KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian imobilisasi limbah cair transuranium simulasi dengan polimer epoksi menggunakan absorber zeolit dan bentonit serta resin ion bekas yang mengandung limbah TRU. Dari penelitian ini diperoleh bahwa semakin besar kandungan limbah, maka densitas semakin besar, kuat tekan polimer-limbah semakin kecil, sedangkan laju pelindiannya semakin besar. Hasil imobilisasi terbaik LCTRU adalah dengan polimer epoksi menggunakan absorber zeolit, karena diperoleh waste loading (WL) terbesar yaitu 30 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, "Characteritics of Solidified High Level Waste Product", Technical Report Series No. 187, IAEA, Vienna, 1979.
2. MARTONO H., "Status Penelitian Dan Pengembangan Pengelolaan Limbah Aktivitas Tinggi di Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Pengolahan Limbah I, Serpong, Desember 1997.
3. P2TBDU BATAN, "Laporan Analisis Radioaktivitas Unsur dari Radiometalurgi", P2TBDU, Serpong, 2001.
4. IAEA, "Immobilization of Low and Intermediate Level Radioactive Waste with Polymer", Technical Report Series No. 289, IAEA, Vienna, 1988.
5. AISYAH, "Pengaruh Keasaman dan Kandungan Limbah Pada Imobilisasi Limbah TRU dari Instalasi Radiometalurgi dengan Polimer", Hasil Penelitian Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif 2003, P2PLR, Jakarta, 2004.
6. PNC-JAPAN, "Characteristics of Waste-Glass", Tokai Works, 1988.
7. MARTONO H., " Imobilisasi Limbah Cair Transuranium Simulasi Dengan Polimer Stiren Divinilbenzena", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY – BATAN, 1995.