

## PENGOLAHAN LIMBAH URANIUM CAIR DENGAN RESIN ANION AMBERLITE IRA-400 CI DAN IMOBILISASI RESIN JENUH MENGGUNAKAN POLIMER

Dwi Luhur Ibnu Saputra<sup>1</sup>, Wati<sup>1</sup>, Nurhayati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN,

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Universitas Satya Negara Indonesia

Email: [ibnu.saputra@batan.go.id](mailto:ibnu.saputra@batan.go.id)

### ABSTRAK

**PENGOLAHAN LIMBAH URANIUM CAIR DENGAN RESIN ANION AMBERLITE IRA-400 CI DAN IMOBILISASI RESIN JENUH MENGGUNAKAN POLIMER.** Limbah uranium yang berasal dari fase rafinat hasil ekstraksi uranium sisa produksi radioisotop Mo<sup>99</sup> mengandung banyak radionuklida hasil belah dan uranium dengan konsentrasi rendah. Reduksi volume limbah dilakukan dengan proses penyerapan maksimal uranium yang membentuk [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>-4</sup> dengan resin penukar anion amberlite IRA 400 CI dalam kolom secara kontinyu. Kondisi tersebut berlangsung sampai waktu operasi selama 45 jam hingga resin menjadi jenuh. Analisis kandungan uranium diukur menggunakan alat spektrometer UV-Vis. Resin jenuh uranium di imobilisasi menggunakan polimer sesuai dengan standar IAEA. Proses imobilisasi dilakukan dengan mencampur resin jenuh dan polimer poliester dengan variasi kandungan limbah 10, 20, 30, 40, dan 50% berat/berat dalam seriform. Karakterisasi ketahanan polimer dilakukan dengan uji densitas, uji kuat tekan dan laju pelindihan diukur menggunakan alat tekan hidrolik dan soxhlet. Kondisi optimum imobilisasi pada kandungan limbah 20% didapat dengan densitas sebesar 1,1490 g/cm<sup>3</sup>, kuat tekan 4,342 kN/cm<sup>2</sup>, dan laju pelindihan 0,0011 gram/cm<sup>2</sup>.hari

Kata kunci :pengolahan limbah uranium, resin anion, imobilisasi, polimer

### ABSTRACT

**TREATMENT OF LIQUID URANIUM WASTE WITH ANION EXCHANGE RESIN AMBERLITE OF IRA – 400 CI AND IMMOBILIZATION RESIN SATURATED URANIUM USING POLYMER.**Waste uranium of rafinat from uranium extractionproces of Mo<sup>99</sup> radioisotope production contain many radionuclides fission product and uranium low concentration. Waste volume reduction is done with maximum absorption process of uranium that forms [UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>-4</sup> with anion exchange resin Amberlite of IRA 400 CI in continuous column.The optimum condition was achieved 45 haur operation until resin become saturated. Analysis of uranium was measured by UV – Vis Spectrometer. According to the standart of IAEA that immobilization of the saturated resin usepolimer. The immobilization process was carried out by mix the saturated resin and polyester polymer with variety of waste loading 10, 20, 30, 40 dan 50 % in seriform. Resistance charackeristic of polimer conducted with test of density, and also test of compressive strength and leaching rate measured using a hydraulic press and soxhlet.The optimum condition for the immobilization were obtained on waste loading 20 weight %, with density is 1,1490 g/cm<sup>3</sup>, compressive strength is 4,342kN/cm<sup>2</sup> and leaching rate is 0,0011 gram/cm<sup>2</sup>.day

Keyword : waste uranium treatment, anion resin, immobilization, polimer

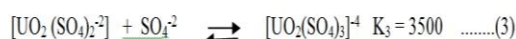
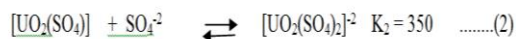
### PENDAHULUAN

Produksiisotop Mo<sup>99</sup> dihasilkan dari Instalasi Produksi Radioisotop di BATAN. Isotop Mo<sup>99</sup> dihasilkan dari reaksi U<sup>235</sup> dengan neutron di dalam reaktor nuklir G.A Siwabessy. U<sup>235</sup> akan mengalami reaksi fisi (pembelahan) menjadi hasil belah diantaranya Mo<sup>99</sup> sedangkan U<sup>238</sup> mengalami reaksi aktivasi neutron menjadi unsur – unsur aktinida [1]. Bahan bakar atau kapsul yang dilapisi uranium diiradiasi dalam reaktor kemudian dilarutkan dalam HNO<sub>3</sub> 6 – 8 M. Dalam larutan tersebut mengandung uranium yang konsentrasinya masih tinggi, hasil belah termasuk Mo<sup>99</sup> dan aktinida.Radionuklida Mo<sup>99</sup> diambil menggunakan larutan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Uranium

dalam larutan dipisahkan secara ekstraksi menggunakan pelarut tributil fosfat dodekan [2]. Hasil dari proses ekstraksi yaitu fase ekstrak yang banyak mengandung uranium dan sedikit radionuklida hasil belah, serta fase rafinat yang didominasi radionuklida hasil belah dan uranium dengan konsentrasi rendah. Uranium sisa dengan konsentrasi rendah dan banyak mengandung hasil belah merupakan limbah cair yang akan diproses lebih lanjut dengan resin penukar anion. Limbah cair dari hasil ekstraksi uranium tidak dapat yang diolah di evaporasi Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) karena tingkat keasaman yang tinggi dan IPLR hanya mengolah limbah cair dengan aktivitas rendah[3]. Uranium konsentrasi rendah, hasil

belah dan aktinida dalam bentuk kation merupakan limbah cair yang dikomplekskan dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sehingga membentuk senyawa anion akan diproses lebih lanjut dengan resin penukar ion anion hingga resin tersebut jenuh. Jika menggunakan resin penukar kation maka,  $\text{UO}_2^{+2}$  akan kompetitif dengan kation hasil belah yang lain.

Limbah uranium cair ini dikomplekskan dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sehingga menjadi [4]



Selanjutnya ion kompleks uranyl sulfat dialirkan melalui resin amberlite IRA-400 Cl. Variabel yang berpengaruh pada penyerapan  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$  oleh resin penukar anion amberlite IRA – 400 Cl adalah penentuan berat  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , pH, dan waktu kontak. Pada reaksi pembentukan kompleks anion yang terbentuk hanya  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^{4-}$ , sedangkan yang lain masih berupa kation dalam limbah yang lolos dari kolom pada penyerapan dengan resin penukar anion.

Resin jenuh uranium tersebut kemudian diimobilisasi menggunakan polimer. polimer baik digunakan karena uranium merupakan radionuklida pemancar alfa dengan waktu paro yang panjang[5]

#### Karakterisasi dan kualitas hasil imobilisasi

Karakterisasi hasil imobilisasi limbah radioaktif dilakukan dengan mengukur uji densitas, kuat tekan dan pelindihannya. Uji kuat tekan digunakan untuk menentukan kekuatan tekan blok polimer - limbah dengan alat hidrolik tekan. Uji densitas digunakan untuk menentukan massa jenis blok polimer - limbah sedangkan uji pelindihan digunakan untuk menentukan laju pelindihan blok polimer - limbah dengan menentukan banyaknya radionuklida yang terlepas ke lingkungan dan dilakukan dengan alat *soxhlet*.

Kuat tekan blok polimer-limbah merupakan parameter penting untuk evaluasi benturan agar menjamin keselamatan penanganan, transportasi dan penyimpanan lestari yang sudah dibuat standar oleh IAEA.

Laju pelindihan yaitu lepasnya unsur kerangka polimer dan lepasnya sejumlah unsur limbah dari blok polimer-limbah. Kerusakan kerangka polimer limbah dan laju pelindihan dapat ditentukan dengan mengukur kehilangan

berat polimer limbah. Laju pelindihan dapat ditentukan dengan analisis unsur - unsur atau radionuklida dalam air pelindih dengan laju pelindihan dipercepat. Laju pelindihan dipercepat digunakan untuk penelitian jangka pendek yang meneliti pengaruh beberapa parameter dan mengevaluasi kualitas hasil imobilisasi. Pengujian ini menggunakan air bebas mineral pada suhu  $100^\circ\text{C}$  untuk mempercepat pelindihan dengan cara mengekstrak sampel dengan alat *soxhlet* selama 24 jam. Laju pelindihan ditentukan dengan menggunakan kehilangan berat sampel pada  $\text{cm}^2$  hari. Pengujian laju pelindihan jangka panjang dilakukan menggunakan ukuran polimer limbah sesungguhnya dan simulasi kondisi lingkungan dalam penyimpanan lestari.

## METODOLOGI

### Bahan dan Alat

Bahan kimia yang digunakan adalah  $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , resin *amberlite* IRA – 400 Cl, *arsenazo* III dan polimer poliester

Peralatan yang digunakan adalah shaker, kolom resin, rangkaian *soxhlet* untuk uji lindih, pH meter, alat tekan hidrolik *carver*, spektrometer UV-Vis *Perkin Elmer Lambda 35*, *SeriFor*, neraca analitik dan alat – alat gelas laboratorium.

### Tata Kerja

#### Pembuatan Limbah Simulasi

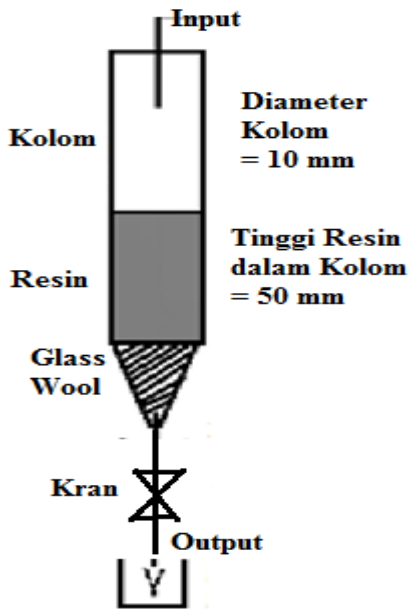
Limbah simulasi dibuat dengan cara melarutkan  $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$  menjadi konsentrasi 50 mg/l.

#### Penentuan efisiensi optimum penyerapan

Penyerapan optimum dilakukan untuk menentukan efisiensi optimum dari penambahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebagai pengkompleks, pH dan waktu kontak.

#### Penyerapan uranium dalam kolom resin

Penyerapan limbah uranium cair dilakukan dalam kolom resin dengan laju alir 30 ml/jam. Proses penyerapan dalam kolom resin dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Proses penyerapan limbah uranium cair dalam kolom resin

**Imobilisasi resin dengan polimer**

Imobilisasi resin anion amberlite IRA 400 - Cl dilakukan setelah mendapatkan penyerapan resin jenuh dalam proses alir pada kolom. Efisiensi yang didapat digunakan untuk perhitungan pembuatan resin jenuh. Imobilisasi dibuat dengan berbagai variasi *waste loading* (kandungan limbah) yaitu 10, 20, 30, 40 dan 50 %. Resin dan polimer dicampur pada masing - masing *waste loading* dalam cetakan *SeriForm*.

**Uji Densitas**

Uji densitas dilakukan dengan mencari volume blok polimer - limbah yaitu dengan mengukur tinggi dan diameter blok polimer - limbah dengan menggunakan jangka sorong. Selanjutnya blok polimer - limbah ditimbang hingga konstan. Densitas blok polimer-resin dihitung dengan persamaan 4 [6]

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{4}$$

Dimana  $\rho$  = densitas (gram/cm<sup>3</sup>), m = massa contoh (gram), v = volume contoh (cm<sup>3</sup>)

**Uji Kuat Tekan**

Blok polimer - limbah yang telah diukur densitasnya, dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan blok polimer - resin dilakukan dengan menggunakan alat tekan hidrolik *Carver* untuk menentukan kuat tekannya. Uji kuat tekan dilakukan untuk

menentukan kekuatan dari blok polimer - limbah. Nilai kuat tekan yang diukur didapat pada saat blok polimer - limbah mulai pecah. Kuat tekan blok polimer-limbah dihitung dengan persamaan 5 [6]

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{A} \tag{5}$$

Dimana  $\sigma_c$  = kekuatan tekan (kN/cm<sup>2</sup>),  $P_{max}$  = beban tekan maksimum (kN), A=luas penampang mula-mula (cm<sup>2</sup>). Uji tekan dilakukan dengan menggunakan alat *Carver Hydraulic Test* menggunakan prosedur ASTM C 39/C 39M-05[7]

**Laju Pelindihan**

Pengujian pelindihan dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat *soxhlet*. Proses pelindihan dilakukan dengan mengisi air bebas mineral dalam labu didih dan diisi blok polimer - resin. Pemanasan dilakukan pada suhu 100°C selama 24 jam. Laju pelindihan menurut *Japan Industrial Standart* (JIS) dirumuskan dengan persamaan 6 [6]:

$$L = \frac{W_o - W}{S.t} \tag{6}$$

Dimana L = laju pelindihan (g cm<sup>2</sup>/hari),  $W_o$  = berat contoh sebelum dilindih (g), W= berat contoh sesudah dilindih (g), S= luas permukaan contoh (cm<sup>2</sup>/g), t= waktu pelindihan (hari)

**Analisis Uranium dengan Spektrometer UV - VIS**

Analisis uranium menggunakan pengkomplek arsenazo III 0,05 % pada pH 2 dan diukur dengan spektrometer pada panjang gelombang 650 nm.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

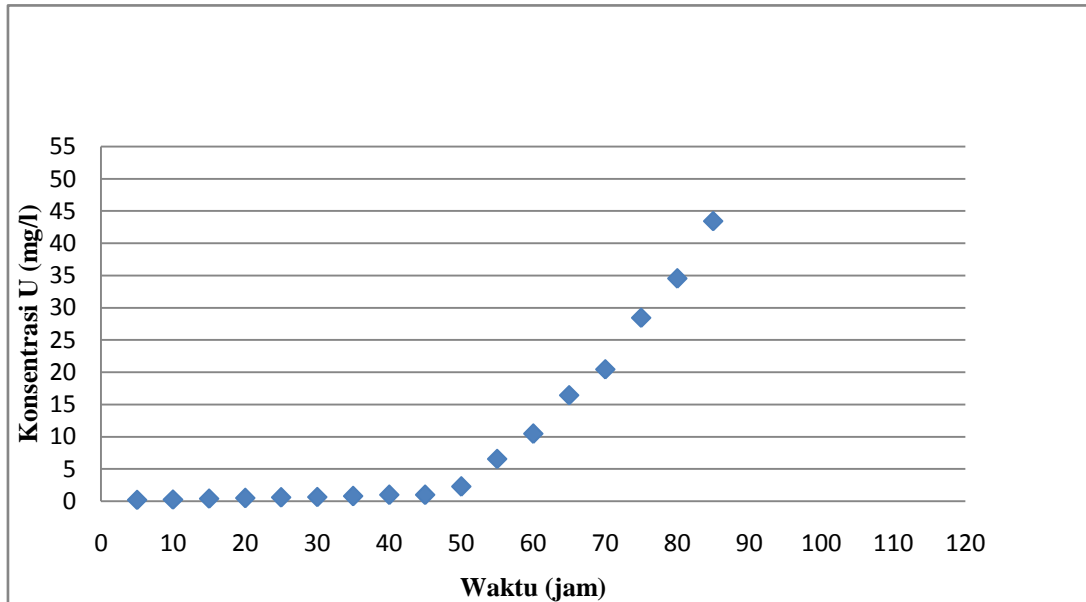
Kondisi optimum penyerapan uranium oleh resin dipengaruhi oleh komposisi umpan, pH, dan waktu kontak. Pada **Gambar 2** dapat dilihat bahwa, pada keadaan awal nuklida uranium yang melawati kolom resin terserap dengan baik. Hal ini terjadi karena adanya beda konsentrasi uranium dalam larutan dan resin, sehingga terjadi perpindahan uranium dari larutan ke resin sampai resin jenuh. Kondisi tersebut berlangsung sampai waktu operasi selama 45 jam.

Uranium yang terikat resin selama 45 jam adalah 66,190 mg.

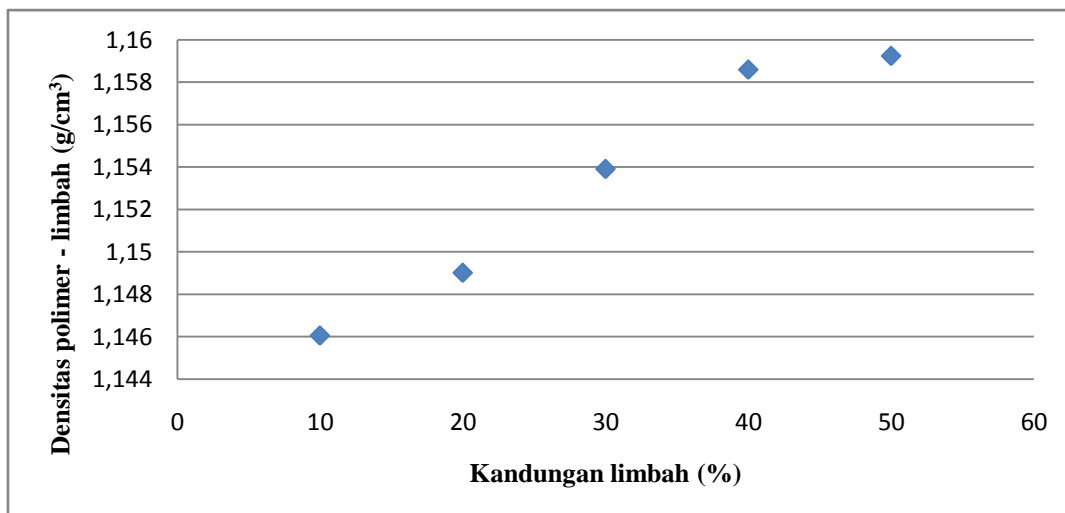
### Densitas Polimer – Resin

Semakin besar kandungan polimer akan meningkatkan densitas karena massa jenis resin lebih besar dibanding dengan massa jenis

polimer. Peningkatan massa polimer – resin terjadi karena banyaknya kandungan uranium dalam resin dari proses penjumlahan dari pada unsur – unsur C dan H dalam polimer[8]. Hubungan antara kandungan limbah dengan densitas hasil imobilisasi polimer ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Konsentrasi uranium yang keluar dari kolom penukar ion berisi resin anion amberlite IRA 400 - Cl

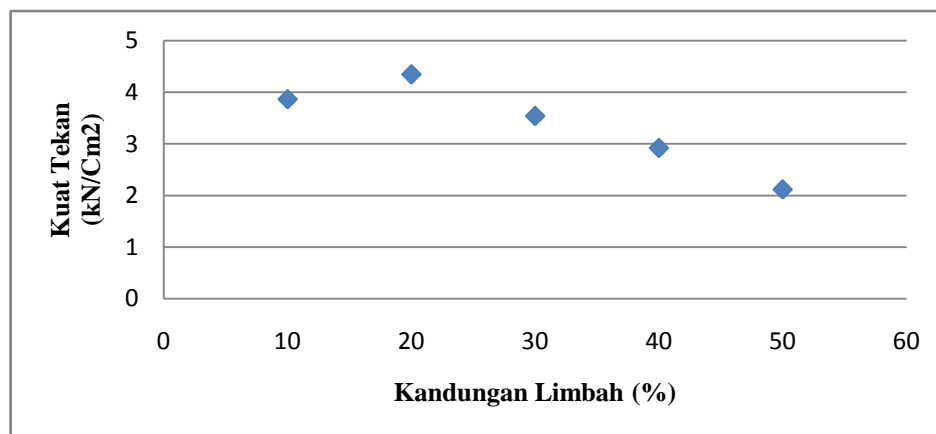


Gambar 3. Pengaruh kandungan limbah terhadap densitas polimer – resin

### Kuat Tekan Polimer – Resin

Pada **Gambar 4** dapat dilihat bahwa kenaikan kuat tekan pada kandungan 20% merupakan komposisi yang baik hal ini disebabkan resin berperan sebagai pengisi dalam polimer sehingga dapat membentuk suatu bahan yang komposit [9]. Kuat tekan blok polimer

dengan kandungan 30 hingga 50% terus mengalami penurunan karena rantai polimer yang semakin pendek dan volume blok polimer – resin yang semakin besar maka tiap lapisan rantai polimer tidak cukup mengungkung limbah untuk memperkuat struktur, sehingga kekuatan tekanannya semakin menurun[10].

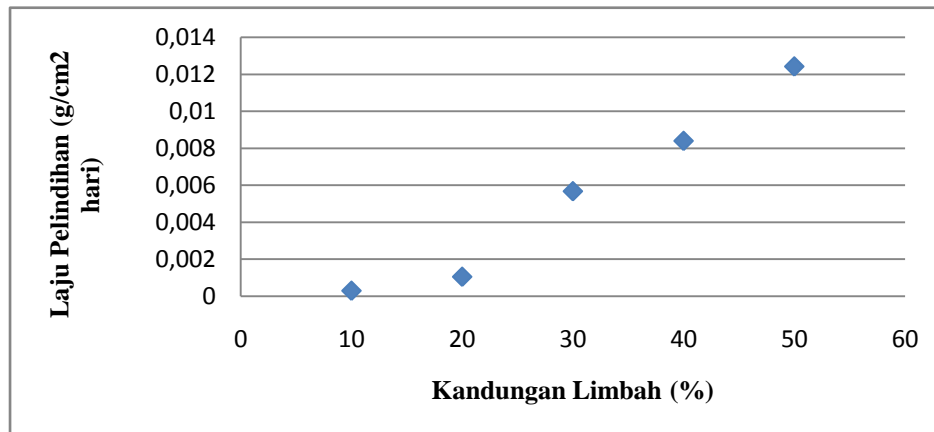


Gambar 4. Pengaruh kuat tekan hasil imobilisasi resin jenuh uranium menggunakan polimer dengan berbagai kandungan limbah

### Laju Pelindihan Polimer –Resin

Dapat diketahui bahwa limbah yang terlindih terjadi setiap kandungan limbah. Pelindihan pada kandungan limbah 10 % sebesar  $1,7 \times 10^{-4}$  g/cm<sup>2</sup>.hari dan pelindihan terbesar terjadi pada kandungan limbah 50% sebesar  $13,1 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>2</sup>.hari. Pelindihan uranium dari polimer resin terjadi karena difusi uranium dari dalam

polimer ke air pelindihan. Pada alat *soxhlet* pelindihan dilakukan pada 100<sup>0</sup>C, 1 atm. Laju pelindihan pada 100<sup>0</sup>C 1 atm sama dengan laju pelindihan pada suhu kamar selama satu tahun[11]. Pengaruh laju pelindihan polimer – resin dengan berbagai kandungan limbah dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Pengaruh laju pelindihan polimer – resin dengan berbagai kandungan limbah

### KESIMPULAN

Pengolahan limbah uranium dengan pengkompleks Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dapat diserap oleh resin anion amberlite IRA – 400 Cl menggunakan kolom dengan laju alir 30 ml/jam. Dimensi kolom resin yang digunakan adalah tinggi kolom 50 mm dan diameter kolom adalah 10 mm. Penyerapan optimal resin dalam kolom berlangsung sampai waktu operasi selama 45 jam. Imobilisasi resin bekas yang mengandung uranium jenuh dengan polimer didapatkan hasil

yang baik pada kandungan limbah 20%. Pada konsisi tersebut hasil imobilisasi polimer – resin dengan densitas sebesar 1,1490 g/cm<sup>3</sup>, kuat tekan 4,342kN/cm<sup>2</sup>, dan laju pelindihan 0,0011 gram/cm<sup>2</sup>.hari.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Bapak Herlan Martono yang telah membimbing penelitian ini dengan baik

## DAFTAR PUSTAKA

1. Dwi luhur ibnu saputra, Herlan Martono, “ Penyerapan Uranium Cair Dengan Pengkompleks Natrium Sulfat Menggunakan Resin Penukar Anion”, Prosiding Nasional XVIII, Kimia Dalam Pembangunan, Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia” ISSN 0854-4778, Tahun 2015
2. Wati, “Imobilisasi Limbah Cair Transuranium Simulasi Dari Instalasi Radiometarulgi dengan Polimer Poliester Tak Jenuh” Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176, Yoyakarta, 2009
3. Martono Herlan, Thamzil Las, Ajeng Sartika, “ Resin Poliester Tak Jenuh Untuk Imobilisasi Resin Bekas Pengolahan Simulasi Limbah Radioaktif Cair” Jurnal Kimia Valensi Vol.2 No.1, ISSN : 1978 – 8193, November 2010
4. Solgy Mostafa, *Adsorption Of Uranium (Vi) From Sulphate Solutions Using Amberlite IRA – 402 Resin*, Equilibrium, kinetic and thermodynamics study, Journal annals of nuclear energy, 2014
5. Aisyah, Herlan Martono, Wati, “*Pengolahan Limbah Uranium Menggunakan Alumino Siliko Fosfat*”, Jurnal Zeolit Indonesia Vol.7 No.2, ISSN : 1411-6723, Bandung, 2008
6. Martono Herlan, *Pengolahan Limbah Aktivitas Tinggi Dan Transuranium, Pendidikan Dan Pelatihan Pengolahan Limbah Radioaktif*, BATAN, Serpong, 2010
7. Yuli Purwanto, Aisyah, ”Imobilisasi Alumino Siliko Phospat Jenuh Uranium Menggunakan Polimer Epoksi”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX, ISSN 1410-6086, Serpong 2010
8. Aisyah, “Pengolahan Limbah Produksi Radioisotop Menggunakan Resin”. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, 2009
9. Wati, “Imobilisasi Limbah Cair Transuranium Simulasi Dari Instalasi Radiometarulgi dengan Polimer Poliester Tak Jenuh” Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176, Yoyakarta, 2009
10. Aisyah, “Pengolahan Limbah Produksi Radioisotop Menggunakan Resin”. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, 2009
11. Martono Herlan, “*Degradasi Termal Epoksi Akrilat dan Poliester Stiren yang mengandung limbah transuranium simulasi*”, Prosiding pertemuan dan presentasi ilmiah PPNY – BATAN, Yogyakarta, 1996