**PENGARUH PANAS DAN RADIASI TERHADAP KETAHANAN POLIMER EPOKSI YANG MENGANDUNG LIMBAH URANIUM**

**Dini Fahriani\*), Wiharyanto Oktiawan\*\*), Herlan Martono\*\*\*)**

***ABSTRACT***

*Rafinat waste from extraction of uranium has very long half life of U and is a radioactive waste that must be managed so it not causing radiological impact to humans and environment. Rafinat waste absorbed and immobilized by a epoxy polymer resin on 30% content of waste, then stored in interm storage (temporary storage). In the temporary storage, waste get radiation exposure from the surrounding environment that has result in heat and radiation that may result in changes in the characteristics of the waste polymer (density, compressive strength, and the rate of leaching). Polymer waste that heated at temperature of 100 o and 200 o C in 2, 4, 6, 8, and 10 hours has decreasing density and compressive strength,but increasing the rate of leaching. At temperature of 300 o C for 2 and 4 hours, polymer waste has been broken, melted, and change color to black so density, compressive strength, and the rate of leachete test can not be done. Polymer waste that irradiated by gamma at doses of 40, 80, 120, and 160 kGy have constant density value or there is no change, compressive strength of polymer waste that irradiated at dose of 40 kGy is increasing if compare with 0 kGy dose of polymer waste, and the rate of leaching of polymer waste that irradiated at dose of 40 kGy have undetectable levels output of radionuclides leachete, while the compressive strength and the rate of leaching has decrease after the polymer waste has irradiated at doses > 80 kGy. Value of density, compressive strength, and rate of leaching due to the influence of alpha radiation time changes for 1, 2, and 3-month, but changes of value of density, compressive strength, and the rate of leaching that occurred is small so it can be said to be constant or unchanged against characteristics of polymer waste.*

***Keywords****: uranium waste, heat, epoxy polymers, radiation*

**PENDAHULUAN**

Dalam bidang kedokteran nuklir, isotop Mo99 digunakan untuk diagnosis penyakit seperti fungsi hati, ginjal, dan tumor. Di Instalasi Produksi Radioisotop (IPR), isotop Mo99 dibuat dari *High Enriched Uranium* (HEU) atau dikenal dengan Uranium diperkaya 93 %, yang diiradiasi dalam reaktor GA.Siwabessy. Uranium diperkaya 93 %, berarti U235 93 % yang akan mengalami reaksi fisi, sedangkan 7 % U­238 mengalami reaksi serapan neutron. Setelah iradiasi dalam reaktor, kelongsong dilepas dan U teriradiasi dilarutkan dalam HNO3 6-8 M. Setelah Mo99 diambil dengan penyerapan Al2O3, maka U diekstraksi dengan pelarut *Tributil Fosfat* *Dodekan*. Hasil ekstraksi adalah fase ekstrak yang banyak mengandung U dan sedikit hasil belah dan fase rafinat yang mengandung hasil belah dan sedikit U.

\*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Undip Semarang

\*\*) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan Undip Semarang

\*\*\*) Staf Badan Tenaga Nuklir Nasional Serpong

Limbah rafinat mengandung U sebanyak 50 mg/l dan hasil belah merupakan limbah radioaktif. Umur paro U sangat panjang, sehingga limbah tersebut harus dikelola agar tidak mempunyai potensi dampak radiologi terhadap manusia dan lingkungan. Kandungan hasil belah dalam limbah memancarkan radiasi gamma yang menimbulkan panas dalam limbah.

Pengolahan limbah jenis ini meliputi dua tahap, yaitu reduksi volume dan imobilisasi digunakan untuk memudahkan proses selanjutnya. Hasil imobilisasi resin penukar anion Bayer dengan polimer epoksi akan diperoleh hasil imobilisasi terbaik yaitu pada kandungan limbah 30 % (Athiyah, 2010). Pada kondisi tersebut densitas blok polimer-limbah adalah 1,0290 gram/cm3, kuat tekan 12,1477 kN/cm2, dan laju pelindihannya tidak terdeteksi.

Pada penyimpanan di tempat penyimpanan sementara (*interm storage*), hasil imobilisasi akan mengalami kenaikan suhu karena panas dari radiasi gamma hasil belah dan dari radiasi luar (lingkungan). Radiasi alfa dalam hasil imobilisasi kemungkinan akan mengakibatkan reaksi inti, yang mengakibatkan perubahan komposisi. Perubahan komposisi ini akan mengakibatkan perubahan densitas, kuat tekan, dan laju pelindihannya.

Penelitian ini hanya terbatas untuk meneliti seberapa besar pengaruh suhu dan lama waktu pemanasan, iradiasi gamma, dan radiasi alfa terhadap karakteristik polimer epoksi yang mengandung limbah uranium (uji densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan).

**METODOLOGI PENELITIAN**

Persiapan Bahan

Pembuatan limbah simulasi (Larutan Uranil Karbonat)

Uranil nitrat heksahidrat, Na2CO3

1 liter air

Penjenuhan Resin

Resin penukar anion

Resin jenuh uranium

Imobilisasi resin jenuh uranium (30% kandungan limbah)

Resin epoksi dan hardener (1:1)

Polimer limbah

Iradiasi gamma dosis 40,80,120,dan160 kGy

Radiasi alfa(1,2,dan 3 bulan)

Panas 100,200,300 0C

Selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam

Karakterisasi Polimer Limbah

**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Uji Laju Pelindihan

Uji Kuat Tekan

Uji Densitas

Karakteristik Polimer Limbah

Hasil dan Pembahasan

Kesimpulan

**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengaruh Suhu terhadap Karakteristik Blok Polimer Limbah**

Pemanasan 300 0C selama 2 dan 4 jam blok polimer limbah sudah mengalami degradasi, meleleh menjadi berwarna hitam, dan mengalami perubahan bentuk sehingga pada suhu 300 0C tidak dipelajari variabel waktu dan tidak ditentukan densitas, kuat tekan, dan laju pelindihannya. Pada suhu 300 0C blok polimer limbah rusak karena sudah mencair, sedangkan untuk pemanasan pada suhu 100 dan 200 0C blok polimer limbah belum mengalami perubahan bentuk atau rusak. Untuk selanjutnya, dipelajari densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 100 dan 200 0C dengan variasi waktu .

**Pengaruh Pemanasan Blok Polimer Limbah pada Suhu 100 0C pada Berbagai Waktu terhadap Densitas, Kuat Tekan, dan Laju Pelindihan**

1. **Densitas**

**Gambar 2. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pemanasan Blok Polimer Limbah pada Suhu 100 0C dengan Densitas**

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa densitas blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 100 0C selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam menunjukkan bahwa nilai densitasnya menurun. Hal ini terjadi karena semakin lama blok polimer limbah tersebut dipanaskan, semakin berkurang jumlah air bebas di dalam blok polimer limbah yang disebabkan penguapan air. Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu pemanasan maka semakin kecil nilai densitas blok polimer limbah. Hilangnya uap air bebas di dalam blok polimer limbah tidak mengakibatkan blok polimer limbah retak. Blok polimer limbah dapat retak jika terjadi penguapan air terikat di dalam blok polimer limbah.

1. **Kuat Tekan**

**Gambar 3. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pemanasan Blok Polimer Limbah pada Suhu 100 0C dengan Kuat Tekan**

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa kuat tekan blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 100 0C selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena semakin lama blok polimer limbah tersebut dipanaskan maka homogenitas blok polimer limbah akan berkurang sehingga semakin rapuh. Semakin banyak air bebas di dalam blok polimer limbah yang menguap, maka semakin banyak pori yang terbentuk sehingga blok polimer limbah semakin tidak homogen.

1. **Laju Pelindihan**

**Gambar 4. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pemanasan Blok Polimer Limbah pada Suhu 100 0C dengan Laju Pelindihan**

Berdasarkan hasil laju pelindihan pada grafik di atas, dapat dilihat bahwa laju pelindihan blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 100 0C selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan maka laju pelindihannya semakin meningkat. Pada waktu pemanasan selama 0, 2, dan 4 jam memiliki laju pelindihan 0. Kenaikan laju pelindihan karena semakin banyak pori yang terbentuk akibat menguapnya air bebas. Banyaknya pori akan meningkatkan perpindahan radionuklida dari polimer limbah ke air pelindih.

**Pengaruh Pemanasan Blok Polimer Limbah pada Suhu 200 0C pada Berbagai Waktu terhadap Densitas, Kuat Tekan, dan Laju Pelindihan**

1. **Densitas**

**Gambar 5. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pemanasan Blok Polimer Limbah pada Suhu 200 0C dengan Densitas**

Dapat dilihat pada grafik di atas, bahwa blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 200 0C selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam nilai densitasnya menurun seiring dengan meningkatnya waktu pemanasan. Nilai densitas blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 200 0C selama 2 jam sudah menunjukkan nilai densitas yang menurun drastis jika dibandingkan dengan blok polimer limbah pada suhu kamar. Pemanasan pada suhu yang lebih tinggi ini dalam waktu yang sama akan jauh meningkatkan banyaknya air bebas yang menguap dari blok polimer limbah sehingga densitasnya semakin menurun.

1. **Kuat Tekan**

**Gambar 6. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pemanasan Blok Polimer Limbah Pada Suhu 200 0C dengan Kuat Tekan**

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa kuat tekan blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 200 0C selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan maka kuat tekannya semakin menurun. Kuat tekan blok polimer limbah pada pemanasan 200 0C selama 2 jam sudah jauh lebih kecil dibandingkan dengan kuat tekan blok polimer limbah pada suhu kamar. Hal ini dapat terjadi karena semakin lama blok polimer limbah tersebut dipanaskan maka blok polimer limbah akan semakin rapuh. Rapuhnya blok polimer limbah karena semakin banyaknya pori yang terjadi akibat menguapnya air bebas dari blok polimer limbah. Semakin banyak pori yang terbentuk berarti semakin tidak homogen.

1. **Laju Pelindihan**

**Gambar 7. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pemanasan Blok Polimer Limbah Pada Suhu 200 0C dengan Laju Pelindihan**

Dari hasil uji laju pelindihan pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa laju pelindihan blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 200 0C selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan maka laju pelindihannya semakin meningkat. Laju pelindihan yang terjadi pada waktu pemanasan selama 2 jam sudah mengindikasikan adanya sedikit radionuklida yang terlindih ke luar (lingkungan) yaitu 0,00002 g/(cm2.hari) sedangkan pada pemanasan 6 dan 8 jam laju pelindihan meningkat menjadi 0,00003 g/(cm2.hari) dan peningkatan laju pelindihan paling tinggi yaitu pada pemanasan selama 8 dan 10 jam yaitu 0,00005 g/(cm2.hari). Nilai Laju Pelindihan ini masih dalam angka yang kecil dan memenuhi standar karena orde laju pelindihan untuk polimer adalah 10-5 g/(cm2.hari) (Martono.H, 2009). Ini berarti ketahanan kimia hasil imobilisasi blok polimer-limbah yang dipanaskan selama 2, 4, 6, 8 dan 10 jam sudah menurun dibandingkan dengan blok polimer limbah pada suhu kamar (t = 0) yang tidak menunjukkan adanya radionuklida yang terlindih ke luar (lingkungan) yang berarti ketahanan kimianya masih sangat baik. Kenaikan laju pelindihan radionuklida dari blok polimer limbah ke lingkungan (air pelindih) karena semakin banyaknya pori yang terjadi akibat menguapnya air bebas dalam blok polimer limbah.

**Pengaruh Iradiasi Gamma terhadap Densitas, Kuat Tekan, dan Laju Pelindihan**

1. **Densitas**

**Gambar 8. Grafik Hubungan antara Dosis Radiasi Gamma dengan Densitas Blok Polimer Limbah**

Berdasarkan grafik di atas, densitas blok polimer limbah yang diiradiasi gamma akan sedikit menurun seiring dengan besarnya dosis radiasi gamma. Penurunan densitas yang terjadi tidak terlalu besar, bahkan kurang dari 1 % sehingga densitas blok polimer limbah yang diiradiasi gamma dapat dikatakan konstan atau tidak mengalami perubahan. Hal ini disebabkan panas yang dihasilkan oleh radiasi gamma tidak terlalu besar sehingga air bebas di dalam blok polimer limbah tidak terlalu banyak yang menguap. Ini berarti tidak terjadi perubahan massa. Jadi, dapat disimpulkan bahwa iradiasi gamma tidak menimbulkan perubahan yang berarti terhadap densitas blok polimer limbah.

1. **Kuat Tekan**

**Gambar 9. Grafik Hubungan antara Dosis Radiasi Gamma dengan Kuat Tekan Blok Polimer Limbah**

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa hasil uji kuat tekan blok polimer limbah yang diiradiasi gamma pada dosis 40 kGy memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan blok polimer limbah pada dosis 0 (t = 0). Hal ini disebabkan karena iradiasi gamma pada dosis 40 kGy akan menyebabkan terjadinya peningkatan *cross link* (ikatan silang) pada blok polimer limbah yang akan memperkuat ketahanan blok polimer limbah sehingga kuat tekan blok polimer dengan dosis radiasi 40 kGy lebih kuat jika dibandingkan blok polimer pada dosis 0. Pada dosis radiasi 80, 120, dan 160 kGy kuat tekan blok polimer limbah menjadi menurun jika dibandingkan dengan dosis 0 dan 40 kGy karena pada dosis tersebut iradiasi gamma sudah menyebabkan terjadinya degradasi pada blok polimer limbah dimana berat molekul polimer yang awalnya sangat banyak menjadi menurun/pecah. Hal ini akan menyebabkan kuat tekan blok polimer limbah yang diiradiasi pada dosis 80, 120, dan 160 kGy akan menurun.

1. **Laju pelindihan**

**Gambar 10. Grafik Hubungan antara Dosis Radiasi Gamma dengan Laju Pelindihan Blok Polimer Limbah**

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15 di atas, dapat dilihat bahwa hasil uji laju pelindihan blok polimer limbah semakin meningkat seiring dengan besarnya dosis radiasi yang diberikan pada blok polimer limbah. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa laju pelindihan blok polimer limbah yang diiradiasi pada dosis 40 kGy seperti blok polimer limbah pada dosis 0 tidak terdeteksi adanya radionuklida yang terlindih ke luar, sedangkan hasil laju pelindihan untuk blok polimer limbah yang diiradiasi pada dosis 80, 120, dan 160 kGy menunjukkan adanya kenaikan radionuklida yang terlindih ke luar tetapi dengan nilai kecil dan masih memenuhi standar yaitu 3.10-5 , 5.10-5 dan 6.10-5. Ini berarti ketahanan kimia hasil imobilisasi blok polimer-limbah yang diiradiasi pada dosis 40 kGy masih sangat baik, sedangkan untuk blok polimer limbah yang dipanaskan diiradiasi pada dosis 80, 120, dan 160 kGy sedikit menurun, tetapi masih memenuhi standar. Hal ini disebabkan karena pada dosis 40 kGy terjadinya peningkatan *cross link* (ikatan silang) dimana ketahanan kimia suatu polimer semakin meningkat sehingga tidak menyebabkan adanya radionuklida yang terlindih ke luar. Pada dosis 80, 120, dan 160 kGy blok polimer limbah sudah mengalami degradasi dimana ketahanan kimia polimer semakin menurun sehingga radionuklida yang terlindih ke luar (lingkungan) semakin besar seiring dengan besarnya dosis radiasi.

**Pengaruh Radiasi Alfa terhadap Densitas, Kuat Tekan, dan Laju Pelindihan**

1. **Densitas**

**Gambar 11. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pengaruh Radiasi Alfa dengan Densitas Blok Polimer Limbah**

Grafik di atas menunjukkan bahwa densitas blok polimer limbah menurun seiring dengan lamanya waktu pengaruh radiasi alfa. Perubahan densitas yang disebabkan radiasi alfa pada blok polimer limbah yang didiamkan selama 1, 2, dan 3 bulan adalah kecil (tidak lebih dari 1 %) sehingga dapat dikatakan bahwa densitasnya konstan. Hal ini disebabkan karena tidak terjadi reaksi alfa dengan atom-atom dalam polimer yang mengakibatkan transmutasi. Tidak terjadinya transmutasi berarti komposisi tetap, massa tetap sehingga densitasnya tetap. Blok polimer limbah yang didiamkan beberapa bulan akan menyebabkan air bebas di dalam blok polimer limbah ada yang mengalami penguapan, tetapi jumlah air bebas yang menguap tidak terlalu banyak sehingga perubahan densitasnya kecil.

1. **Kuat Tekan**

**Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Lama Waktu Pengaruh Radiasi Alfa dengan Kuat Tekan Blok Polimer Limbah**

Berdasarkan grafik di atas, pengaruh radiasi alfa terhadap kuat tekan blok polimer limbah dari 1 bulan hingga 3 bulan memiliki kuat tekan yang lebih kecil dibandingkan dengan kuat tekan blok polimer limbah yang tidak diradiasi (t = 0). Hal ini disebabkan karena pengaruh radiasi alfa tidak mennimbulkan transmutasi atau reaksi inti, sehingga tidak terjadi perubahan komposisi. Ini berarti tidak terjadi perubahan kuat tekan. Perubahan kuat tekan disebabkan adanya pori akibat air bebas dalam polimer limbah yang menguap.

1. **Laju pelindihan**

**Gambar 13. Grafik Hubungan Antara Lama Waktu Pengaruh Radiasi Alfa dengan Laju Pelindihan Blok Polimer Limbah**

Pada Gambar 14 di atas, menunjukkan bahwa semakin lama blok polimer limbah terkena radiasi alfa maka uji laju pelindihannya sedikit meningkat. Laju pelindihan yang terjadi pada waktu pengaruh radiasi alfa 2 bulan dan 3 bulan sudah mengindikasikan adanya radionuklida yang terlindih ke luar (lingkungan) sedangkan pada blok polimer limbah yang tidak diradiasi (t = 0) dan pada waktu pengaruh radiasi alfa 1 bulan memiliki laju pelindihan 0 yang menunjukkan bahwa tidak adanya radionuklida yang terlindih ke luar (lingkungan). Ini berarti ketahanan kimia hasil imobilisasi blok polimer limbah yang didiamkan selama 2 dan 3 bulan akibat radiasi alfa praktis tidak berpengaruh terhadap laju pelindihan. Hal ini dapat terjadi karena semakin lama blok polimer limbah tersebut didiamkan maka adanya pori yang timbul karena air bebas yang menguap mengakibatkan kenaikan laju pelindihan. Laju pelindihan radionuklida dari blok polimer limbah masih memenuhi standar dengan orde 10-5 g/(cm2.hari).

**KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Blok polimer limbah yang dipanaskan pada suhu 100 dan 200 0C selama 2, 4, 6, 8, dan 10 jam mengalami perubahan densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan dimana densitas dan kuat tekan blok polimer limbah semakin menurun seiring dengan lamanya waktu pemanasan, sedangkan laju pelindihannya semakin meningkat. Pemanasan pada suhu 300 0C selama 2 jam blok polimer limbah sudah rusak terjadi perubahan bentuk dan warna menjadi hitam sehingga tidak dapat dilakukan uji densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan.
2. Blok polimer limbah yang diiradiasi gamma pada dosis 40, 80, 120, dan 160 kGy mengalami perubahan kuat tekan dan laju pelindihan, sedangkan densitasnya konstan. Dimana kuat tekan blok polimer limbah menurun pada dosis 80, 120, dan 160 kGy dan laju pelindihan blok polimer limbah semakin meningkat seiring dengan besarnya dosis radiasi gamma yang diberikan, tetapi masih memenuhi standar dengan orde 10-5 g/ (cm2.hari).
3. Pengaruh radiasi alfa terhadap blok polimer limbah dengan lama waktu 1, 2 dan 3 bulan mengalami perubahan pada kuat tekan dan laju pelindihan, sedangkan densitasnya konstan. Kuat tekan blok polimer limbah semakin menurun seiring dengan lamanya waktu pengamatan dan laju pelindihan blok polimer limbah pada waktu 2 dan 3 bulan menunjukkan adanya radionuklida yang terlindih ke luar, tetapi masih memenuhi standar dengan orde 10-5 g/ (cm2.hari).

**SARAN**

1. Pemanasan blok polimer limbah pada suhu 300 0C sudah tidak dapat dilakukan karena blok polimer limbah sudah mengalami degradasi, meleleh menjadi berwarna hitam, dan mengalami perubahan bentuk.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada percobaan pengaruh dosis radiasi gamma terhadap blok polimer limbah untuk mengetahui pada dosis berapa blok polimer limbah sudah rusak atau hancur. Pada percobaan ini, dosis radiasi 160 kGy blok polimer limbah belum rusak atau hancur.

**DAFTAR PUSTAKA**

Aminjoyo, Sukarman. 1983. *Pengeringan*. Badan Tenaga Atom Nasional Pusat Penelitian Bahan Murni dan Instrumentasi : Yogyakarta.

Athiyah, Umu. 2010. *Penyerapan Uranium dengan Pengkompleks Na2CO3 Menggunakan Resin Amberlite IRA-400 Cl dan Imobilisasi dengan Resin Epoksi*. UIN: Jakarta.

Martono, Herlan dan Aisyah. 2009 . *Penerapan Vitrifikasi dan Polimerisasi pada Pengolahan Limbah Cair Aktivitas Rendah dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir*. Prosiding Seminar Nasional XII, Kimia dalam Pembangunan, Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, Yogyakarta.

Sugiarto.1994. Iradiasi Polimer dengan Irradiator Gamma Co-60. PATIR: Serpong.

Van Vlack, L.H dan Sriati Djaprie.1986. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Erlangga : Jakarta.