

Resin Poliester Tak Jenuh Untuk Imobilisasi Resin Bekas Pengolahan Simulasi Limbah Radioaktif Cair

¹Herlan Martono, ^{2,3}Thamzil Las, ²Ajeng Sartika K

¹) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN PUSPIPTEK Serpong

²) Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

³) Pusat Laboratorium Terpadu UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang imobilisasi resin bekas pengolah limbah trans-uranium dengan resin poliester tak jenuh untuk mengetahui kualitas blok polimer-limbah sebagai fungsi kandungan limbah. Polimerisasi dilakukan dengan mencampurkan resin poliester tak jenuh dengan katalis dengan perbandingan katalis 1% dari jumlah resin poliester tak jenuh yang digunakan, kemudian ditambahkan limbah cair transuranium simulasi. Blok polimer-limbah yang terjadi diukur densitas, kuat tekan dengan alat *Paul Weber*, dan laju pelindihan dengan alat soxhlet pada 100 °C dan 1 atm selama 6 jam. Blok polimer dibuat dengan kandungan limbah 10, 20, 30, 40, dan 50 % berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kandungan limbah maka kuat tekan blok polimer-limbah semakin kecil, sedangkan laju pelindihannya semakin besar. Berdasarkan kuat tekan dan laju pelindihan, maka hasil terbaik diperoleh untuk blok-polimer dengan kandungan limbah 20 % dan 30 %.

Kata Kunci : polimerisasi, imobilisasi, resin penukar ion.

Abstract

The immobilization of tray resin was treated with resin unsaturated polyester has been conducted. The quality of obtained polymer blocks waste as a function of waste loading was studied. Immobilization was done by mixing unsaturated polyester and 1% catalyst, then added liquid simulation waste. The compressive strength, and the leaching rate of the obtained polymer blocks were measured by Paul Weber equipment and by soxhlet apparatus at 100°C and 1 atm for 6 hours respectively. The polymer blocks were prepared by various concentration of waste loading i.e 10, 20, 30, 40, and 50 weight ratio. It was found that the higher of waste loading in the polymer cause the higher of density, the lower of compressive strength and the higher of leaching rate. In conclusion, the best immobilization was obtained for waste-polymer blocks with 20 % and 30 % of waste loading.

Keywords : polymerization, immobilization, ion exchange.

1. PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) terus dikembangkan dan dimanfaatkan dalam upaya memenuhi kebutuhan dasar manusia, memperpanjang harapan hidup dan menstimulasi peningkatan kualitas hidup. Dalam pemanfaatan iptek untuk berbagai tujuan selalu ditimbulkan hasil samping proses atau limbah. Demikian juga dalam pemanfaatan, pengembangan dan penguasaan iptek nuklir selalu akan ditimbulkan limbah radioaktif sebagai hasil samping proses.

Limbah radioaktif yang ditimbulkan harus dikelola dengan baik dan tepat agar tidak

mencemari lingkungan, serta tidak memberikan dampak yang mengganggu kesehatan masyarakat.

Limbah radioaktif umumnya ditimbulkan dari kegiatan pengoperasian reactor riset, pemanfaatan sumber radiasi, dan bahan radioaktif dalam bidang industri, pertanian, kedokteran dan penelitian serta dari berbagai proses industri yang menggunakan bahan yang mengandung radionuklida alam (*Naturally Occurring Radioactive Material*, NORM). Di negara-negara maju, limbah radioaktif juga ditimbulkan dari pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), kegiatan daur-ulang bahan bakar nuklir bekas

(BBNB) dan dekomisioning instalasi/fasilitas nuklir. Pengelolaan limbah radioaktif dilaksanakan untuk mencegah timbulnya bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup (Collins, J.C. 1960).

Reaktor nuklir merupakan sumber yang utama karena jumlah dan aktivitas limbah yang ditimbulkan beragam. Limbah radioaktif dari reaktor nuklir berasal dari air pendingin primer reaktor nuklir, bahan bakar nuklir bekas, dan reaktornya sendiri setelah didismantling. Limbah air pendingin primer reaktor merupakan limbah aktivitas rendah yang umumnya mengandung Cs137. Untuk negara yang tidak melakukan proses olah ulang (daur bahan bakar nuklir terbuka), bahan bakar nuklir yang dikeluarkan dari reaktor disimpan dalam kolam (penyimpanan basah) atau penyimpanan secara kering (dengan udara pendingin) selama 40-60 tahun. Selanjutnya bahan bakar nuklir bekas disimpan lestari (*ultimate disposal*) pada formasi geologi dengan kedalaman 500 – 1000 m (Martono, 1997).

Untuk negara maju yang menganut daur bahan bakar nuklir tertutup, proses olah ulang bahan bakar nuklir bekas dilakukan untuk mengambil U sisa dan Pu yang terjadi. Setelah bahan bakar nuklir bekas dikeluarkan dari reaktor, maka disimpan dalam kolam reaktor selama 6 bulan. Selanjutnya kelongsong bahan bakar nuklir bekas dipotong untuk mengeluarkan bahan bakar nuklirnya. Bahan bakar dilarutkan dalam HNO₃ 6 – 8 M selanjutnya diekstraksi menggunakan pelarut TBP-dodekan (Try Butyl Phosphate-odekan). Paa ekstraksi siklus I, proses olah ulang ditimbulkan limbah cair aktivitas tinggi, dan pada siklus II di timbulkan limbah cair transuranium (BATAN, 1997).

Limbah padat yang timbul dari dismantling reaktor jenis aktivitasnya beragam, dari aktivitas rendah ke tinggi. Limbah cair transuranium dari IRM diklasifikasikan sebagai LCTRU karena adanya unsur-unsur aktinida yang tidak terdeteksi. Limbah cair transuranium tidak dapat diolah di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR), Karena IPLR hanya dirancang untuk mengolah limbah aktifitas rendah (Martono, 2007).

Tujuan penelitian ini yaitu mempelajari proses pengolahan limbah cair transuranium dan menentukan kualitas blok polimer limbah atau pengaruh kandungan limbah terhadap densitas, kuat tekan, laju lindih polimer limbah. Hasil penelitian ini diharapkan untuk dapat diterapkan dalam pengolahan rutin limbah cair transuranium dari bahan bakar pasca iradiasi di Instalasi Radiometalurgi.

2. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Radioaktif Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN PUSPIPTEK Serpong, pada bulan September 2007 sampai dengan Maret 2008 kemudian diteruskan dengan analisis Cs terlindih di Labolatorium terpadu UIN Jakarta November 2008.

Bahan dan Alat

Resin Amberlite IR 120 Na yang merupakan resin penukar ion dari Rohm and Haas France S.A.S, poliester tak jenuh (YUKALAC 2252) dan katalis MEKPO (Metil Etil Keton Peroksida) dari PT. Justus Kimia Raya, cesium klorida (CsCl) dari Univar, cerium oksida (CeO₂) dari Sigma Chemical Co., glisin (H₂NCH₂COOH) dari Merck, natrium hidroksida(NaOH) dari Merck, air bebas mineral.

Alat- alat yang digunakan antara lain : Paul weber untuk uji kuat tekan, soxhlet untuk uji lindih, pH meter, Atomic Absorption Spectrometry (AAS) dari Perkin Elmer dengan tipe A. analyst 700, blok cetakan polimer dengan diameter 0.65 cm dan tinggi 0,65 cm, neraca analitik.

Penjenuhan resin (IAEA, 1988)

Resin yang akan dijenuhkan terlebih dahulu dipilih dengan ukuran yang sama yaitu 40 mesh. Resin (*Amberlite IR 120 Na*) dimasukkan ke dalam larutan CsCl sebagai limbah simulasi, didiamkan hingga jenuh. Setelah itu resin disaring kemudian dikeringkan.

Pada proses pengeringan ini digunakan oven dengan suhu tetap 100°C. resin disini digunakan sebagai limbah simulasi. Dalam pembuatan blok polimer ini dibutuhkan bahan pengungku yang yaitu poliester tak jenuh (*Yukalac 2252*) yang dicampurkan dengan bahan pengeras (*hardener*) yaitu katalis MEKPO, bersifat asam kuat. Katalis yang digunakan 1 % dari jumlah poliester.

Sebagai perbandingan dibuat pula limbah cair simulasi dari campuran CsCl dan CeO₂ dengan proses yang sama dengan limbah simulasi dari larutan CsCl murni. Limbah cair simulasi yang terbentuk dicampurkan dengan absorber dalam berbagai rasio berat limbah 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 %. Larutan tersebut diaduk sehingga homogen kemudian dicetak dalam tabung reaksi. Setelah terbentuk polimer padat, polimer dikeluarkan dari tabung reaksi kemudian dipotong-potong hingga ukurannya sama, dengan ukuran diameter sama dengan tinggi. Perbandingan komposisi polimer limbah ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan penambahan resin untuk masing-masing *waste loading* dengan berat total 50 gram

<i>Waste loading (%)</i>	Resin (gram)	Resin poliester tak jenuh (gram)	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

Pengujian Densitas

Pada pengujian densitas alat yang digunakan adalah jangka sorong, dengan mengukur tinggi dan diameter sampel, serta menimbang blok polimer limbah yang telah berulang-ulang dimasukkan ke dalam oven dan desikator hingga diperoleh berat konstan.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat Paul Weber (prinsip kerja alat menyerupai piston), dengan spesifikasi D.7064 Remshaiden-Grubach. Dengan satuan kN dan

skala terkecil 1 kN. Dengan demikian dapat diketahui seberapa kuat tekan blok polimer limbah tersebut.

Pengujian laju lindih (Martono, *et.al*, 2007)

Pengujian laju lindih digunakan alat soxhlet yang telah diatur suhu dan tekanannya, yaitu pada suhu 100°C dan 1 atm. Uji ini dilakukan selama 6 jam, dengan mulai hitungan pada saat tetesan pertama mengenai blok polimer. Laju kondensasi pada soxhlet dijaga tetap pada 300 cm³/jam.

Langkah selanjutnya adalah untuk mendapatkan berat konstan dari blok polimer dengan cara dikeringkan dengan menggunakan oven, untuk menghilangkan kadar air bebas dalam sampel.

Untuk mengetahui Cs yang terlindih selama uji pelindihan dilakukan analisis air pelindih dengan menggunakan alat AAS.

Pengujian pengaruh pH terhadap laju pelindihan (Martono, *et.al*, 2007)

Pada pengujian pH ini dilakukan perlakuan yang sama dengan melakukan pelindihan tetapi pelarut yang digunakan berbeda. Untuk pH yang bersifat asam seperti pada pH 2 dan pH 5 digunakan glisin, sedangkan untuk yang bersifat basa digunakan pelarut NaOH. Untuk pH netral pH 7 dengan air bebas mineral. Setelah itu Cs yang terlindih dilakukan pengujian dengan menggunakan AAS. Pada pengujian pengaruh pH terhadap laju pelindihan blok polimer limbah direndam dalam air pelindih pada 100°C dan 1 atm. Untuk melakukan pengujian dengan menggunakan AAS, terlebih dahulu dibuat larutan standarnya. Untuk pengujian unsur Cs, ditimbang sebanyak 1,267 gram CsCl, kemudian dilarutkan dalam 1 liter air bebas mineral sehingga diperoleh larutan standar induk Cs 1000 mg/liter. Di ambil 10 ml larutan standar induk Cs 1000 ppm, kemudian dilarutkan dalam labu ukur 100 ml dengan menabahkan aquades sampai tanda garis. Sehingga didapatkan larutan standar dengan kadar 100 ppm. Dibuat derat standar Cs 0, 1, 3, dan 6 ppm dengan melarutkan masing-masing 0 ; 0,5 ; 1,5 ; dan 3 ml larutan standar Cs 100 ppm dengan aquades dlam labu ukur 50 ml.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Imobilisasi Limbah Dengan Polimer

Polimer poliester tak jenuh dibuat dengan kandungan limbah 0, 10, 20, 30, 40, dan 50% berat. Dengan berat polimer sebesar 25 gram warna polimer tanpa kandungan limbah adalah berwarna putih. Dimana Semakin tinggi kandungan limbah dalam polimer warna polimer akan semakin kuning.

Dalam penelitian ini reaksi polimerisasi dilakukan dengan proses *curing* yang bersifat eksotermis karena proses dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana dan biaya yang murah. Resin yang digunakan sebagai penukar ion adalah amberlite IR 120 Na yang memiliki kapasitas tukar kation 1,5 meq/g. Pengamatan secara visual hasil imobilisasi limbah simulasi dengan polimer menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan limbah maka warna blok polimer – limbah hasil imobilisasi lebih kecoklatan, Sedangkan untuk polimer tanpa limbah tampak berwarna jernih. Hal ini terjadi karena semakin banyaknya resin yang digunakan seiring dengan bertambahnya kandungan limbah (IAEA, 2002).

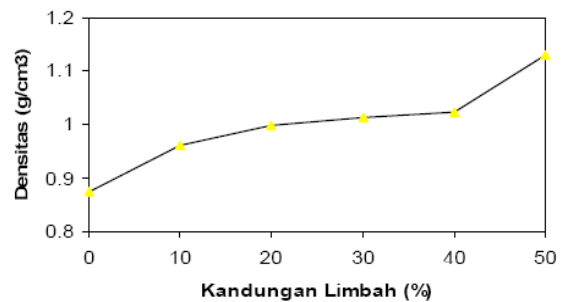
Densitas yang ditentukan berkaitan dengan transportasi, disain tempat penyimpanan sementara, dan penyimpanan lestari. Sedangkan kekuatan tekan ditentukan berkaitan dengan benturan atau jatuh pada saat transportasi dan penyimpanan. Adanya benturan, akan menyebabkan retakan atau pecah menjadi butir-butir kecil. Terjadinya butir-butir kecil akan meningkatkan luas permukaan kontak dengan air yang dapat menaikkan laju pelindihan.

Penentuan harga laju pelindihan dimaksudkan untuk mengetahui kualitas blokpolimer limbah yang dihasilkan. Serta untuk menentukan sejauh mana pelepasan radionuklida dari blok polimer limbah. Pelindihan dilakukan dengan alat soxhlet pada 100°C dan 1 atm selama 6 jam.

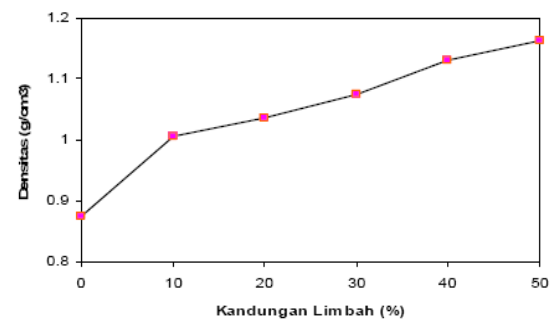
Pengaruh Kandungan Limbah Terhadap Densitas polimer

Hubungan kandungan limbah (Waste Loading) terhadap densitas blok polimer untuk limbah simulasi (Cs) ditunjukan pada Gambar

1 dan untuk limbah simulasi (Cs + Ce) pada Gambar 2.



Gambar 1. Grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs) terhadap densitas



Gambar 2. Grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs+Ce) terhadap densitas.

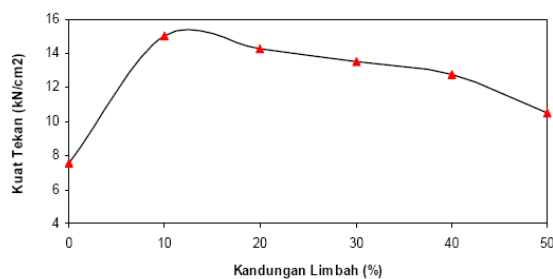
Dari gambar grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs) terhadap densitas, nilai densitas pada kandungan limbah awal 0 % adalah 0,8747 g/cm³ dan berturut-turut pada kandungan limbah 10, 20, 30, 40, dan 50 % adalah 0.9627, 0.9977, 1.0141, 1.0242, dan 1.1296 g/cm³ . dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa makin tinggi kandungan limbah, maka makin besar densitasnya. Hal tersebut karena persentase radionuklida yang massanya lebih besar dalam polimer makin besar.

Persentase kandungan limbah besar, mengakibatkan persentase polimer kecil, sehingga densitas polimer besar. Semakin tinggi kandungan limbah maka makin banyak atom-atom yang massanya besar yaitu Cs yang terkandung dalam polimer, sedangkan polimer disusun dari atom-atom C dan H. Pada Gambar 2, grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs + Ce) terhadap densitas, nilai densitas pada kandungan limbah awal 0 % adalah 0,8747 g/cm³ , nilai ini sama dengan nilai pada

blok polimer (Cs) karena pada kandungan limbah 0 % belum dicampurkan dengan limbah simulasinya. Sedangkan nilai densitas untuk kandungan limbah 10, 20, 30, 40, dan 50 % berturut-turut nilai densitasnya adalah 1.0074, 1.0362, 1.0762, 1.1309, dan 1.1638 g/cm³ . hal ini dikarenakan persentase radionuklida yang massanya lebih besar dalam polimer makin besar. Persentase kandungan limbah besar, mengakibatkan persentase polimer kecil, sehingga densitas polimer besar. Semakin tinggi kandungan limbah maka makin banyak atom-atom yang massanya besar yaitu Cs dan Ce yang terkandung dalam polimer, sedangkan polimer disusun dari atom-atom C dan H. Dari grafik pengaruh kandungan limbah simulasi antara limbah simulasi (Cs) dan limbah simulasi (Cs+Ce), densitas pada kandungan limbah simulasi (Cs+Ce) lebih tinggi jika dibandingkan dengan kandungan limbah simulasi (Cs), hal ini dikarenakan adanya unsur Ce yang massanya jauh lebih besar dibandingkan unsur Cs yang memiliki massa 133.

Pengaruh Kandungan Limbah Terhadap Kuat Tekan Polimer Limbah

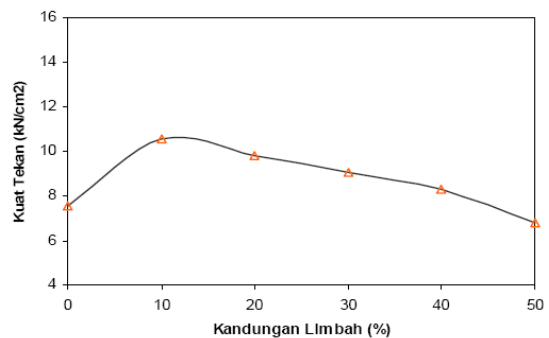
Selanjutnya hubungan kandungan limbah (*waste loading*) terhadap kuat tekan polimer untuk limbah simulasi (Cs) ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan hubungan kandungan limbah terhadap kuat tekan untuk limbah simulasi (Cs+Ce) ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs) terhadap kuat tekan.

Pada grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs) terhadap kuat tekan (Gambar 3). Makin tinggi kandungan limbah maka makin rendah kuat tekannya, akan tetapi kandungan limbah 0 % lebih kecil jika dibandingkan dengan kandungan limbah 10 %,

hal ini kemungkinan disebabkan karena selongsong blok polimer yang agak renggang sehingga menjadi rapuh. Kuat tekan semakin turun jika kandungan limbahnya semakin besar, hal tersebut dikarenakan pengisian bahan Cs membentuk bahan komposit yang sifatnya rapuh dan rantai polimer yang terbentuk semakin pendek. Dengan rantai polimer yang semakin pendek dan volume limbah yang semakin besar maka tiap lapisan rantai polimer tidak cukup untuk mengungkung limbah sehingga kuat tekan menjadi semakin menurun.



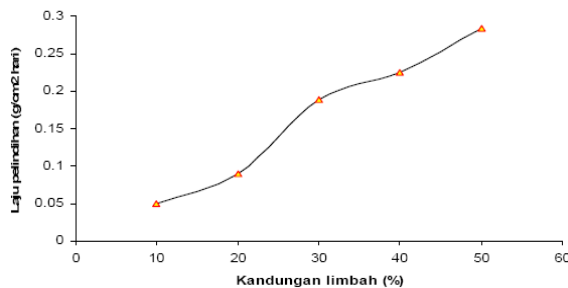
Gambar 4. Grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs+Ce) terhadap kuat tekan

Pada grafik pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs + Ce) terhadap kuat tekan (Gambar 4), dapat dilihat nilai kuat tekan pada kandungan limbah 0 % nilainya sama dengan pada pengaruh kandungan limbah simulasi (Cs) yaitu 7.5188 kN/cm². sedangkan pada kandungan limbah 10, 20, 30, 40, dan 50 % masing-masing adalah 10.5263, 9.7744, 9.0225, 8.2707, dan 6.7669 kN/cm² . pada kandungan limbah 0 % nilai kuat tekannya juga lebih kecil jika dibanding pada kandungan limbah 10 %. Hal ini sama halnya dengan yang terjadi pada limbah simulasi (Cs), kemungkinan juga disebabkan oleh selongsong blok polimer yang agak renggang sehingga menjadi rapuh. Kuat tekan semakin turun jika kandungan limbahnya semakin besar, hal tersebut dikarenakan pengisian bahan Cs+Ce membentuk bahan komposit yang sifatnya rapuh dan rantai polimer yang terbentuk semakin pendek. Dengan rantai polimer yang semakin pendek dan volume limbah yang semakin besar maka tiap lapisan rantai polimer tidak cukup untuk mengungkung limbah

sehingga kuat tekan menjadi semakin menurun.

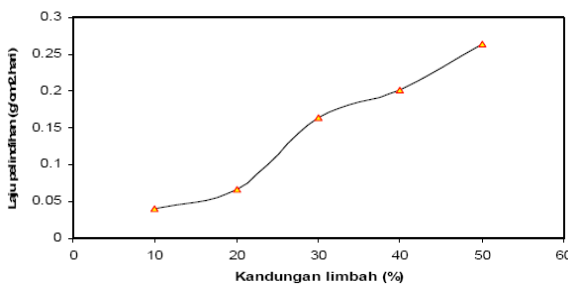
Dari ke 2 grafik tersebut, pengaruh kandungan limbah simulasi (C_s) dan kandungan limbah simulasi ($C_s + C_e$) terhadap kuat tekan dapat dilihat perbedaan diantara keduanya yaitu kuat tekan pada kandungan limbah simulasi (C_s) lebih besar jika dibanding dengan kuat tekan pada kandungan limbah simulasi ($C_s + C_e$), hal ini disebabkan karena adanya unsur C_e yang lebih besar, yang menyebabkan blok polimer menjadi semakin rapuh.

Analisis kandungan limbah terhadap laju pelindihan limbah simulasi dalam polimer



Gambar 5. Grafik laju pelindihan pada kandungan limbah simulasi (C_s) dengan menggunakan AAS

Pada kandungan limbah 0 % tidak dilakukan pengujian karena pada kandungan limbah 0 % tidak terdapat unsur C_s . Laju pelindihan pada kandungan limbah 10, 20, 30, 40, dan 50 % berturut-turut adalah 0.05, 0.09, 0.1889, 0.225, dan 0.2842 g/cm² /hari. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar kandungan limbahnya maka laju pelindihannya akan semakin besar pula. Hal ini disebabkan oleh adanya proses difusi, yang dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi unsur dalam polimer dan larutan pelindih yang semakin besar.



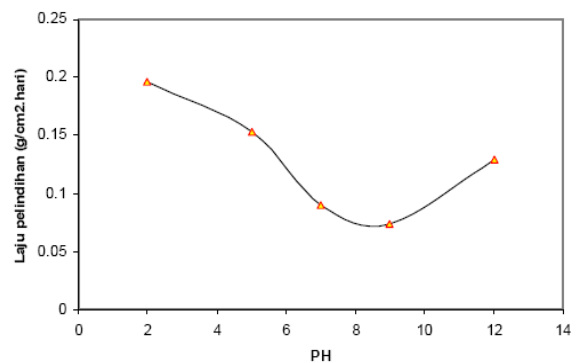
Gambar 6. Grafik laju pelindihan pada kandungan limbah simulasi (C_s+C_e) dengan menggunakan AAS (*atomic absorption spectrometry*).

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa laju pelindihan dipengaruhi oleh besarnya kandungan limbah dalam polimer. Pada laju pelindihan kandungan limbah 10 % yaitu 0.0403 g/cm² hari, lebih kecil dibandingkan pada kandungan limbah 20 % sebesar 0.0659 g/cm² hari begitu seterusnya. Karena semakin tinggi kandungan limbahnya maka laju pelindihannya juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan adanya proses difusi yang dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi unsur dalam polimer dan larutan pelindih yang semakin besar.

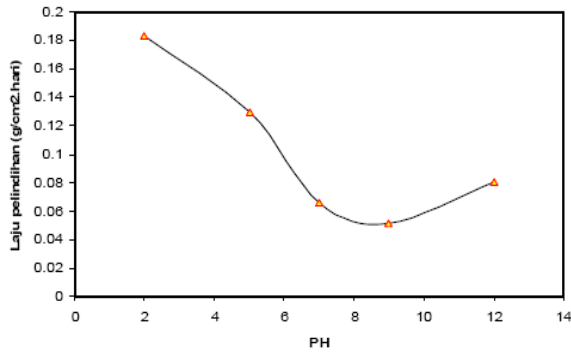
Laju pelindihan pada kandungan limbah simulasi (C_s) lebih besar jika dibandingkan dengan laju pelindihan pada kandungan limbah simulasi (C_s+C_e), karena adanya unsur selain unsur C_s (Gambar 5). Tingginya kandungan C_s dalam polimer menyebabkan perbedaan konsentrasi dalam polimer dan dalam air pelindih menjadi lebih besar. Dengan demikian berdasarkan pertimbangan densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan maka hasil terbaik adalah polimer dengan kandungan limbah 20 % dan 30%.

Pengaruh pH terhadap laju pelindihan C_s dalam polimer limbah dengan kandungan limbah 20 %

Pengaruh pH terhadap laju pelindihan C_s dalam polimer limbah dengan kandungan limbah 20 % dapat dilihat pada Gambar 7 dan kandungan limbah simulasi ($C_s + C_e$) 20 % pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik pengaruh pH terhadap laju pelindihan C_s dalam polimer limbah dengan kandungan limbah simulasi C_s 20 %.



Gambar 8. Grafik pengaruh pH terhadap laju pelindihan Cs dan Ce dalam polimer limbah dengan kandungan limbah simulasi Cs dan Ce 20 %.

Pada gambar di atas dapat dilihat laju pelindihan paling tinggi adalah pada pH 2 yaitu sebesar 0.1834 g/cm²hari. Adapun nilai laju pelindihan pada pH 5, pH 7, pH 9, dan pH 12 berturut-turut adalah sebagai berikut : 0.1295, 0.0659, 0.0510, dan 0.0801 g/cm²hari. Hal ini dikarenakan Laju pelindihan di daerah asam lebih tinggi dari pada di daerah netral \approx pH 7. Hal ini disebabkan karena pada pH asam blok polimer korosif, yaitu rantai polimernya rusak, sehingga Cs lebih banyak lepas. Demikian pula di daerah basa lebih korosif daripada di daerah netral sehingga laju pelindihan di daerah basa lebih tinggi daripada di daerah netral. Di daerah asam laju pelindihannya 48 lebih tinggi daripada di daerah basa, karena daerah asam lebih korosif dibanding daerah basa.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Semakin besar kandungan limbah, maka semakin besar pula densitas dan laju pelindihannya
2. Semakin besar kandungan limbah, maka semakin kecil kuat tekannya.
3. Semakin asam pH maka laju pelindihannya akan semakin tinggi.
4. Laju pelindihan pada pH asam > pH basa > pH netral.
5. Berdasarkan pertimbangan ke empat factor di atas hasil terbaik diperoleh untuk blok polimer dengan kandungan limbah Cs+Ce dan Cs pada kandungan limbah 20 % dan 30 %, karena pada blok polimer dengan

kandungan limbah yang lebih besar blok polimer menjadi lebih rapuh.

Saran

Untuk mengetahui unsur yang terlindih atau rantai polimer yang terkorosi perlu dilakukan analisis lanjutan larutan hasil pelindihan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Martono, H. 2007. *Pengelolaan Limbah Aktivitas Tinggi dan Trans-uranium*. Pendidikan dan Pelatihan Pengolahan Limbah Radioaktif, BATAN; Serpong.
2. Martono, H. 1997. *Status Penelitian dan Pengembangan Pengolahan LimbahAktinitas Tinggi di Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Pengolahan Limbah I, BATAN, Serpong.
3. BATAN. 1997. *prosiding pertemuan dan persentasi Teknologi Pengolahan Limbah*, serpong. Pusat Trknologi Pengolahan Limbah Radioaktif.
4. Collins, J.C. 1960. *Radioactive Waste*. London, Inggris; E. & F. N. Spon Limited.
5. IAEA. 1988. *Immobilization of Low and Intermediate Level Radioactive Waste With Polymer*. Technical report series no.289. Vienna.
6. IAEA. 2002. *Application of Ion Exchange Processes for The Treatment of Radioaktive Waste and Management of Spent Ion Exchangers*. Technical Reports Series No. 408. Vienna,Austria; IAEA.