

Imobilisasi Limbah Tritium Dengan Karbon Aktif dan Zeolit Sebagai Pengadsorpsi

¹Thamzil Las*, ²Djarot S. Wisnusubroto, ¹Nur Ernita

¹Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

²Pusat Teknologi Limbah Radiasi (PTLR) BATAN Serpong

Abstrak

Telah dilakukan optimasi penyerapan limbah tritium yang mengandung radionuklida pemancar partikel β dengan bahan adsorpsi karbon aktif dan zeolit. Variasi bahan adsorpsi yang digunakan masing-masing sebesar 6 gram, 8 gram, 10 gram, 12 gram dan 15 gram dalam 30 ml limbah cair tritium, dibuat dalam pot polietilen dengan diameter 30 mm dan tinggi 40 mm. Pengujian kualitas blok semen hasil imobilisasi meliputi pengujian densitas, pengujian kuat tekan untuk menentukan kekuatan mekanik dan pengujian laju pelindihan untuk menentukan stabilitas kimianya. Sampel diuji tekan dengan alat kuat tekan buatan Perrier, densitas diukur dengan cara menimbang dan mengukur volume sampel menggunakan jangka sorong dan uji laju pelindihan digunakan alat LSC (*Liquid Scintillation Counter*) buatan Packard Tri-Carb 1600TR dengan media pelindih adalah aquades. Hasil optimum untuk karbon aktif diperoleh pada karbon aktif dengan berat 8 gram dalam 300 gram semen, dimana dalam data terlihat hasil dari 3 uji yaitu uji densitas sebesar 1.96 ± 0.2 gram/cm³ (standar IAEA 1,70 - 2,50 gram/cm³), uji kuat tekan sebesar 21,00 N/mm² (standar IAEA 20 - 50 N/mm²) dan uji laju pelindihan sebesar $2,7 \times 10^{-1} - 1,29 \times 10^{-2}$ gram/cm².hari ($1,7 \times 10^{-1} - 2,5 \times 10^{-4}$ gram/cm².hari). Hasil optimum untuk zeolit dicapai pada zeolit dengan berat 15 gram dalam 300 gram semen, dimana dalam data terlihat hasil dari 3 uji yaitu uji densitas sebesar 1.99 ± 0.2 gram/cm³ (standar IAEA 1,70 - 2,50 gram/cm³), uji kuat tekan sebesar 28,26 N/mm² (standar IAEA 20 - 50 N/mm²) dan uji laju pelindihan sebesar $1,528 \times 10^{-1} - 9,5 \times 10^{-3}$ gram/cm².hari ($1,7 \times 10^{-1} - 2,5 \times 10^{-4}$ gram/cm².hari). Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa zeolit memiliki daya penyerapan limbah tritium yang lebih baik dari karbon aktif.

Kata Kunci : Limbah Tritium, karbon aktif, Zeolit, densitas, kuat tekan dan laju pelindihan.

Abstract

Research of optimum absorption of waste tritium considering radionuclide transmitter of β particle with adsorbent materials active carbon and zeolite had been done. Each of adsorbent materials variation were 6 grams, 8 grams, 10 grams, 12 grams and 15 grams in 30 ml liquid waste tritium, put in pot polyethylene with diameter of 30 mm and high 40 mm. Determination of block cement quality from immobilization consist of density, tensile strength to determine strength of mechanic and fast of leaching rates to determine of chemical stability. Sample was tested by depress the brand Perrier, as well as density measured by measured the volume of sample used the meter shove and fast of alkalinity rates used by the LSC apparatus made in Packard Tri-Carb 1600TR with alkalinity media is aquadest. Optimum result for active carbon was obtained at active carbon of weighing of 8 gram in 300 cement gram, where as data result from 3 test were density test equal to 1.96 ± 0.2 grams/cm³ (standard IAEA 1,70 - 2,50 gram/cm³), tensile strength test equal to 21,00 N/mm² (standard IAEA 20 - 50 N/mm²) and fast of leaching rates equal to $2,7 \times 10^{-1} - 1,29 \times 10^{-2}$ gram/cm².day ($1,7 \times 10^{-1} - 2,5 \times 10^{-4}$ grams/cm².day). Optimum result for zeolite was obtained at weighing zeolite of 15 grams in 300 grams of cement, where density test equal to 1.99 ± 0.2 grams/cm³ (standard IAEA 1,70 - 2,50 grams/cm³), tensile strength test equal to 28,26 N/mm² (standard IAEA 20 - 50 N/mm²) and fast of leaching rates equal to $1,528 \times 10^{-1} - 9,5 \times 10^{-3}$ grams/cm².day ($1,7 \times 10^{-1} - 2,5 \times 10^{-4}$ grams/cm².day). Based on the result, zeolite have much better absorption capacity of waste tritium than active carbon.

Keyword : Waste tritium, active carbon, zeolite, density, tensile strength, fast of leaching rates

1. PENDAHULUAN

Tritium (^3H) merupakan salah satu limbah cair radioaktif yang harus dikelola. Jika dilihat secara kimia, tritium (^3H) adalah unsur sederhana yang intinya hanya tersusun atas dua neutron, satu proton dimana struktur intinya bersifat radioaktif. Berbeda dengan isotop H lainnya yaitu protium (^1H) dan deuterium (^2H) yang bersifat stabil. Tritium memancarkan partikel β dengan energi maksimum sebesar 18,6 KeV, mempunyai waktu paruh 12,33 tahun dan bila terlepas ke lingkungan dapat menimbulkan efek radiologi. Dalam lingkungan, tritium berikatan dengan unsur-unsur lain membentuk molekul air (HTO), gas (HT, CH_3T) dan molekul-molekul organik. Sebagai komponen lingkungan tritium juga terdapat dalam bentuk FWT (*free Tritium Water*) dan OBT (*Organically Bound Tritium*) (Tjahaja, P.I., dkk., 1998).

Suatu limbah tritium apabila tidak dikelola dengan baik dapat tersebar pada daerah luas dan terakumulasi dalam berbagai komponen ekosistem, kemudian dapat memasuki tubuh manusia melalui mulut, kulit dan pernapasan, dimana setiap hari tubuh manusia mengeluarkan 2,5 liter air dalam bentuk keringat, air seni dan pernapasan. Jumlah itu pula yang dibutuhkan untuk mendukung aktivitas dalam tubuh manusia. Hampir seluruh reaksi kimia dan biokimia dalam tubuh manusia mutlak memerlukan air sebagai media reaksi. Oleh sebab itu bila terjadi pelepasan radionuklida ini ke lingkungan oleh suatu instalasi nuklir ataupun rumah sakit yang menghasilkan tritium perlu diketahui sedini mungkin, agar konsentrasinya tidak membahayakan lingkungan (Eisenbud, M., *et. al.*, 1979).

Dalam jangka panjang, akumulasi limbah dalam lingkungan dan tubuh manusia dapat mencapai jumlah yang membahayakan kesehatan dan kelestarian lingkungan. Bahkan kerusakan lingkungan yang ditimbulkannya dapat memusnahkan keanekaragaman sumber daya hayati dan menurunkan kesehatan masyarakat, tidak saja dalam lingkup lokal atau regional tetapi juga dalam global. Oleh karena itu limbah radioaktif ini harus diolah dan dikelola untuk

menghilangkan potensi bahaya dampak radiologi ini (Syarbaini, 1996).

Pada dasarnya pengelolaan limbah bertujuan untuk mengendalikan pencemaran yang disebabkan oleh kegiatan industri. Reduksi merupakan salah satu cara untuk mengelola limbah. Reduksi limbah pada sumbernya ini bertujuan untuk mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas dan tingkat bahaya yang akan menyebar di lingkungan secara preventif langsung pada sumber pencemar.

Setelah upaya mereduksi limbah dilakukan maksimal, limbah yang terbentuk selanjutnya diolah dengan memperhatikan baku mutu limbah yang berlaku. Sisa akhir proses pengolahan limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan, harus diimobilisasi terlebih dahulu, misalnya menggunakan matriks semen (Martono, Herlan, 1996).

Salah satu teknik pengolahan limbah tritium yang bertujuan untuk mencegah terjadinya penguapan adalah pengolahan secara pertukaran ion. Pengolahan limbah tritium secara pertukaran ion memerlukan suatu bahan (material) yang dapat berfungsi sebagai zat penukar ion atau secara umum mempunyai sifat adsorpsi terhadap ion lain seperti resin, bentonit, zeolit dan arang tempurung (Las, Thamzil, 1989). Karbon aktif yang berasal dari arang tempurung ini dapat digunakan sebagai bahan adsorpsi karena mempunyai luas permukaan yang besar, berpori-pori dan aktif sehingga mampu untuk menyerap tritium melalui Gaya Van der Waals (Subiarto, 2002). Selain karbon aktif, zeolit juga dapat bersifat sebagai bahan aktif dalam pengadsorpsian tritium. Selain sifat adsorpsi ini zeolit juga mempunyai sifat khusus lainnya seperti dehidrasi, "Molecular Sieves" dan "Ion Exchange" melalui ikatan ion (Dyer A., 1988). Dalam penelitian ini dilakukan proses immobilisasi limbah tritium dan menguji kemampuan adsorpsi antara karbon aktif dan zeolit dalam menyerap limbah tritium.

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah cair radioaktif tritium yang berasal dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Penyakit Menular Departemen Kesehatan dengan aktivitas awal 5,76 Bq/cc tanggal 23 Mei 1994. Untuk bahan adsorpsi yang digunakan adalah berupa karbon aktif, berasal dari arang tempurung yang terdiri atas karbon yang terikat (*fixed carbon*) sekitar 85-95%, dan sisanya terdiri dari abu sekitar 2%, air 1%, nitrogen sekitar 1% serta belerang sekitar 1% dari pabrik Hinda Huna Charcoal di Yogyakarta dan telah mengalami proses aktivasi pada suhu 2000°C serta zeolit yang digunakan berasal dari Bayah-Banten Selatan dengan jenis klinoptilolit ($\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]24\text{H}_2\text{O}$) sekitar 65 % dan modernit sekitar 27,3% - 32,2,%. Sedangkan untuk bahan proses sementasi digunakan campuran pasir Cisadane yang telah dicuci dan dikeringkan dikeringkan dengan ukuran diameter butir sekitar 2 mm, semen portland tipe I dan aquades.

Untuk pengujian laju Pelindihan, bahan yang diperlukan yaitu : larutan pengelip “*Scintillation grade (Picoflour)*” .

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa blender *Philips*, mixer *Philips*, neraca analitik meter AE-2000, peralatan gelas, pot polietilen berdiameter 30 mm dan tinggi 40 mm, sendok besi, ember, jangka sorong dan *Fume Hood*. Sedangkan alat yang digunakan dalam pengujian yaitu LSC (*Liquid Scintillation Counter*) dari Packard Tri-Carb 1600TR untuk pengukuran laju pelindihan dan alat kuat tekan “*Perrier*” dari Perancis.

Prosedur Kerja

1. Penyerapan Limbah Tritium

Langkah kerja pertama adalah mengukur aktivitas awal limbah Tritium dalam satuan Bq/cc. Karbon aktif dan zeolit sebanyak 6, 8, 10, 12 dan 15 gram dimasukkan ke dalam 30 ml limbah tritium kemudian diaduk selama 1 jam dan didiamkan selama ± 1 hari (24 jam).

2. Proses Sementasi Tritium

Campuran semen untuk pengukungan limbah tritium dibuat dengan perbandingan

Semen	Pasir	Air
300 gram	225 gram	75 ml

Larutan tritium dan karbon aktif diatas kemudian ditambahkan ke dalam campuran semen tersebut dan diaduk sampai homogen. Setelah homogen, langkah selanjutnya adalah campuran itu dimasukkan dan dicetak dalam pot polietilen dengan ukuran diameter 30 mm dan tinggi 40 mm. Hasil cetakan didiamkan selama 30 hari (± 1 bulan) sampai mengering dan keras kemudian sampel dalam pot polietilen dilepas. Untuk pengujian dilakukan tiga macam uji yaitu uji densitas, uji kuat tekan dan uji laju pelindihan (Martono, Herlan, 1996).

3. Pengujian Sampel

Pengujian densitas dilakukan dengan cara fisik yaitu dengan mengukur berat dan tinggi sampel melalui jangka sorong. Pengujian Kekuatan tekan dilakukan dengan cara menekan sampel sampai hancur menggunakan alat uji kuat tekan “*Perrier*” . Untuk pengujian kelajuan pelindihan, sampel yang sudah kering dan dilepas dari pot polietilen direndam dalam air aquades, dimana volume air aquades sebagai air pelindihan yang dibutuhkan adalah sebanyak 700 ml. Pengambilan contoh air pelindih dilakukan pada hari ke 3, 7, 14, 21 dan 28. Sebelum dilakukan pencacahan oleh LSC diambil salah satu contoh air pelindih untuk dilakukan optimalisasi dengan cara mencari campuran larutan yang tepat, dimana contoh air pelindih diambil sebanyak 2 ml lalu ditambahkan dengan variasi larutan pengelip ‘*Picoflour*’ sebanyak 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml dan 10 ml. Setelah kondisi optimum tercapai baru air pelindihan limbah tritium dicacah dengan alat LSC Packard Tri-Carb 1600TR selama 10 menit (Heriyanto, Kuat, 2002).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Karbon Aktif Dan Zeolit Terhadap Densitas Semen-Limbah Tritium

Dalam penentuan densitas, proses yang terjadi adalah seberapa kuatkah komposit semen mengimobilisasi limbah radioaktif cair tritium dalam bahan adsorpsi (karbon aktif dan zeolit) dan

kesempurnaan komposit semen masuk ke dalam pori-pori bahan adsorpsi (karbon aktif dan zeolit). Hasil percobaan densitas dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Densitas Komposit Semen, Pasir dan Karbon Aktif

Sampel	Densitas (g / cm ³)						Mean
	I	II	III	IV	V	VI	
Blanko Tritium	2.15	2.17	2.10	1.72	1.60	1.90	1.9400±0.06
Blanko Karbon Aktif*	1.90	1.68	2.22	1.92	1.98	1.98	1.9467±0.03
Karbon aktif 6 gram	2.11	2.07	2.03	1.77	1.80	1.76	1.9233±0.03
Karbon aktif 8 gram	2.11	2.13	2.20	1.78	1.75	1.76	1.9550±0.02
Karbon aktif 10 gram	2.30	2.13	2.13	1.74	2.04	1.86	2.0333±0.06
Karbon aktif 12 gram	2.16	2.07	2.02	1.78	1.79	1.74	1.9267±0.02
Karbon aktif 15 gram	2.06	2.07	2.02	1.80	1.74	1.83	1.9200±0.02
	Mean						1.9493

Tabel 2. Hasil Densitas Komposit Semen, Pasir dan Zeolit

Sampel	Densitas (g / cm ³)						Mean
	I	II	III	IV	V	VI	
Blanko Tritium	2.15	2.17	2.10	1.72	1.60	1.90	1.9400±0.06
Blanko Zeolit*	2.18	2.23	2.19	1.87	1.90	1.91	2.0467±0.01
Zeolit 6 gram	1.94	2.24	2.27	1.77	1.84	1.86	1.9867±0.03
Zeolit 8 gram	2.06	2.04	2.08	1.80	1.81	1.77	1.9267±0.06
Zeolit 10 gram	2.14	2.09	2.14	1.97	1.63	1.75	1.9533±0.05
Zeolit 12 gram	2.04	2.09	2.05	1.78	1.80	1.78	1.9233±0.04
Zeolit 15 gram	2.11	2.14	2.13	1.85	1.83	1.86	1.9867±0.03
	Mean						1.9662

Keterangan : *Blanko karbon aktif dan zeolit tidak dicampur dengan limbah tritium

Berdasarkan hasil percobaan diatas terlihat untuk sampel karbon aktif dengan berat 8 dan 10 gram serta zeolit dengan berat 6 dan 15 gram mempunyai densitas tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini disebabkan karena komposit semen-pasir dapat masuk secara sempurna kedalam rongga-rongga sampel sehingga keadaan rongga tertutup oleh matriks semen dan menyebabkan proses imobilisasi reaksi limbah radioaktif cair tritium dalam bahan adsorpsi.

Dari kedua tabel diatas terlihat bahwa nilai densitas limbah tritium dalam sampel karbon aktif rata-rata lebih kecil daripada densitas

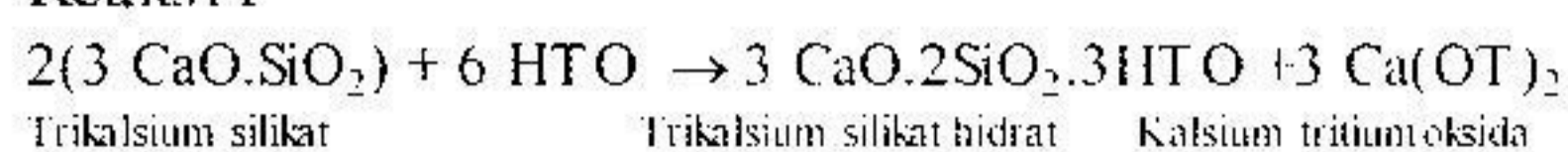
limbah tritium dalam zeolit. Hal ini karena pada karbon aktif dalam menyerap limbah terjadi dengan cara menjaring pancaran partikel β dan mengurungnya dalam pori-pori. Ketika partikel β dikurung terjadi reaksi gaya Van der Waals yaitu reaksi antaraksi ion-dipol terinduksi, dimana molekul netral dalam karbon aktif akan menjadi dipol akibat induksi partikel bermuatan yang berada di dekatnya. Ikatan ini relatif lemah karena kepolaran molekul terinduksi relatif kecil sehingga molekul bersifat polar sesaat secara spontan dan pancaran partikel β tidak terlalu banyak terserap oleh karbon aktif. Untuk itu proses imobilisasi dalam karbon aktif sangat

penting dilakukan agar memperkuat proses pengukungan limbah tritium supaya pancaran partikel β yang terlepas dari karbon aktif dapat terikat kembali oleh matriks semen (Las, Thamzil, dkk., 2003).

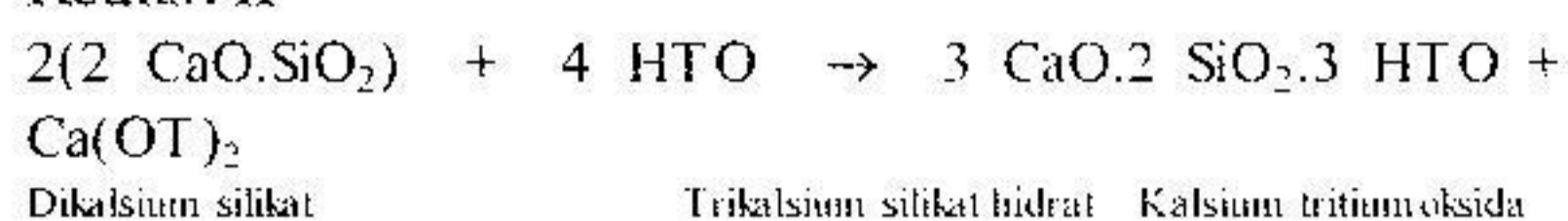
Penyerapan limbah tritium oleh zeolit terjadi dengan cara mengikat unsur tritium melalui sisi aktifnya yaitu berupa atom alumunium (Al) tetrahedral, dimana atom Al ini bermuatan negatif karena berkoordinasi dengan 4 atom oksigen dan selalu dinetralkan oleh kation baik oleh golongan alkali dan alkali tanah untuk mencapai keadaan stabilnya. Proses pengikatan ini terjadi dengan cara "Ion Exchange", yaitu mengganti posisi golongan alkali dan alkali tanah dengan unsur tritium (H^{3+}). Dalam proses pengikatan terjadi reaksi ikatan ion. Ikatan ion ini memiliki sifat keras karena kekuatan ikatan antara ion positif yang berasal dari limbah tritium dan ion negatif yang berasal dari atom alumunium (Al) tetrahedral menyebabkan bentuk senyawa ion berupa padatan keras dan cenderung kristal. Permukaan kristal ini tidak akan mudah untuk digores, digeser ataupun diputus sehingga pancaran partikel β dapat meluruh dan dengan ditambahkan dengan proses pengukungan semen yang masuk secara sempurna kedalam pori zeolit menjadikan aktivitas pancaran partikel β dalam limbah tritium cenderung semakin kecil untuk meluruh. Proses penyerapan partikel β oleh zeolit selain karena penjelasan diatas ternyata dapat juga terjadi oleh tingkat kepolaritasan tinggi yang dimiliki zeolit sehingga limbah tritium yang diimmobilisasi dalam semen menjadi tidak mudah terlepas ke lingkungan (Las, Thamzil, 1989).

Secara umum dari kedua tabel diatas terlihat bahwa antara matriks semen dengan bahan adsorpsi (karbon aktif dan zeolit) mengalami interaksi secara fisik. Hal ini diperkuat dengan reaksi hidrasi air, dimana telah terjadi proses eksitasi unsur antara hidrogen dengan limbah radioaktif cair tritium, sehingga reaksi ini dapat diperlihatkan, yaitu:

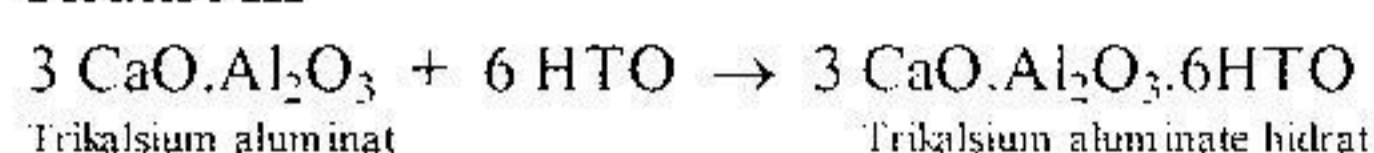
Reaksi I



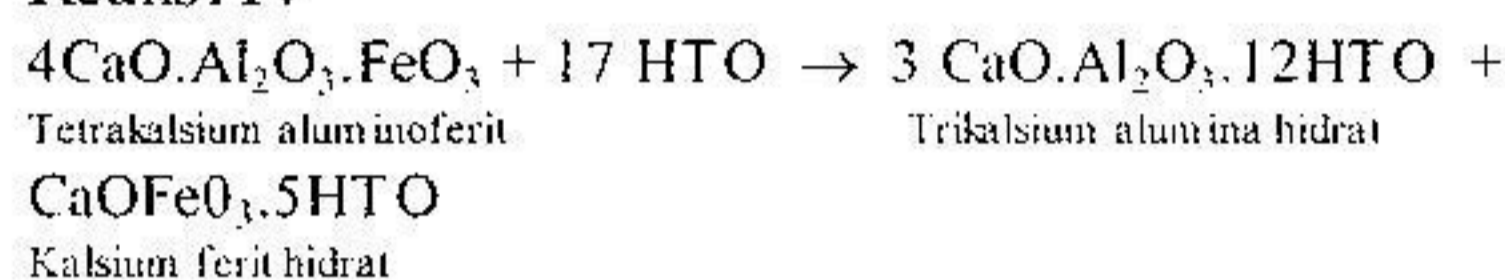
Reaksi II



Reaksi III



Reaksi IV



Dari data tabel yang diperoleh, blok semen dengan berat karbon aktif 8 gram dan 10 gram ternyata mempunyai densitas yang memenuhi kriteria standar IAEA (1,70 - 2,50 g / cm^3) yaitu masing-masing sebesar $1.96 \pm 0.2 \text{ gram/ cm}^3$ dan $2.03 \pm 0.2 \text{ gram/ cm}^3$.

Sedangkan untuk data tabel blok semen dengan berat zeolit optimal 6 gram dan 15 gram ternyata juga mempunyai densitas yang memenuhi kriteria standar IAEA (1,70 - 2,50 g / cm^3) yaitu masing-masing sebesar $1.99 \pm 0.2 \text{ gram/ cm}^3$ (IAEA, 1991).

Hasil Pengukuran Kuat Tekan Semen-Limbah Tritium

Penentuan kuat tekan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan dari blok semen yang dibuat. Dalam standarisasi IAEA kondisi optimum yang harus dicapai dalam penentuan kuat tekan ini adalah sebesar 20 - 50 N/mm^2 .

Hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan selama percobaan dapat dilihat dalam Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Sampel	Air / Solid	Densitas (g/cm ³)	Kuat Tekan (N/mm ²)
1	Blanko Tritium	0.350	2.15	34.90
2	Blanko Karbon aktif	0.350	1.90	15.79
3	Blanko Zeolit	0.350	2.19	48.62
4	Karbon aktif 6 gram	0.343	2.07	17.87
5	Karbon aktif 8 gram	0.340	2.20	21.00
6	Karbon aktif 10 gram	0.339	2.13	19.43
7	Karbon aktif 12 gram	0.336	2.02	18.90
8	Karbon aktif 15 gram	0.333	2.07	24.94
9	Zeolit 6 gram	0.343	2.24	16.73
10	Zeolit 8 gram	0.340	2.06	22.96
11	Zeolit 10 gram	0.339	2.14	21.3
12	Zeolit 12 gram	0.336	2.04	23.27
13	Zeolit 15 gram	0.333	2.14	28.26

Berdasarkan hasil yang dicapai terlihat bahwa secara umum sampel-sampel di atas masuk dalam standar IAEA (*International Atomic Energy Agency*, 1991). Dari data tabel terlihat bahwa antara blanko tritium (blanko semen), blanko karbon aktif dan blanko zeolit yang paling lemah untuk ditekan adalah blanko karbon aktif. Hal ini terjadi karena matriks semen kurang sempurna masuk ke dalam pori karbon aktif. Disamping itu, kekuatan mekanis dari komposit dispersi semen-karbon juga ditentukan oleh adhesi antara semen dan karbon aktif, dimana semakin kuat ikatan Van Der Walls yang terjadi maka kekuatan tekan akan semakin tinggi (Harsono, Dedi, dkk., 1994).

Dari data tabel diatas terlihat bahwa kuat tekan yang baik untuk karbon aktif adalah karbon aktif dengan berat 8 gram, 10 gram dan karbon aktif 15 gram, yaitu masing-masing sebesar 21.00 N/mm², 19.43 N/mm² dan 24.94 N/mm². Sedangkan kuat tekan yang paling baik

untuk zeolit dicapai pada zeolit dengan berat 8 gram, 12 gram dan 15 gram yaitu masing-masing sebesar 22.96 N/mm², 23.27 N/mm² dan 28.26 N/mm².

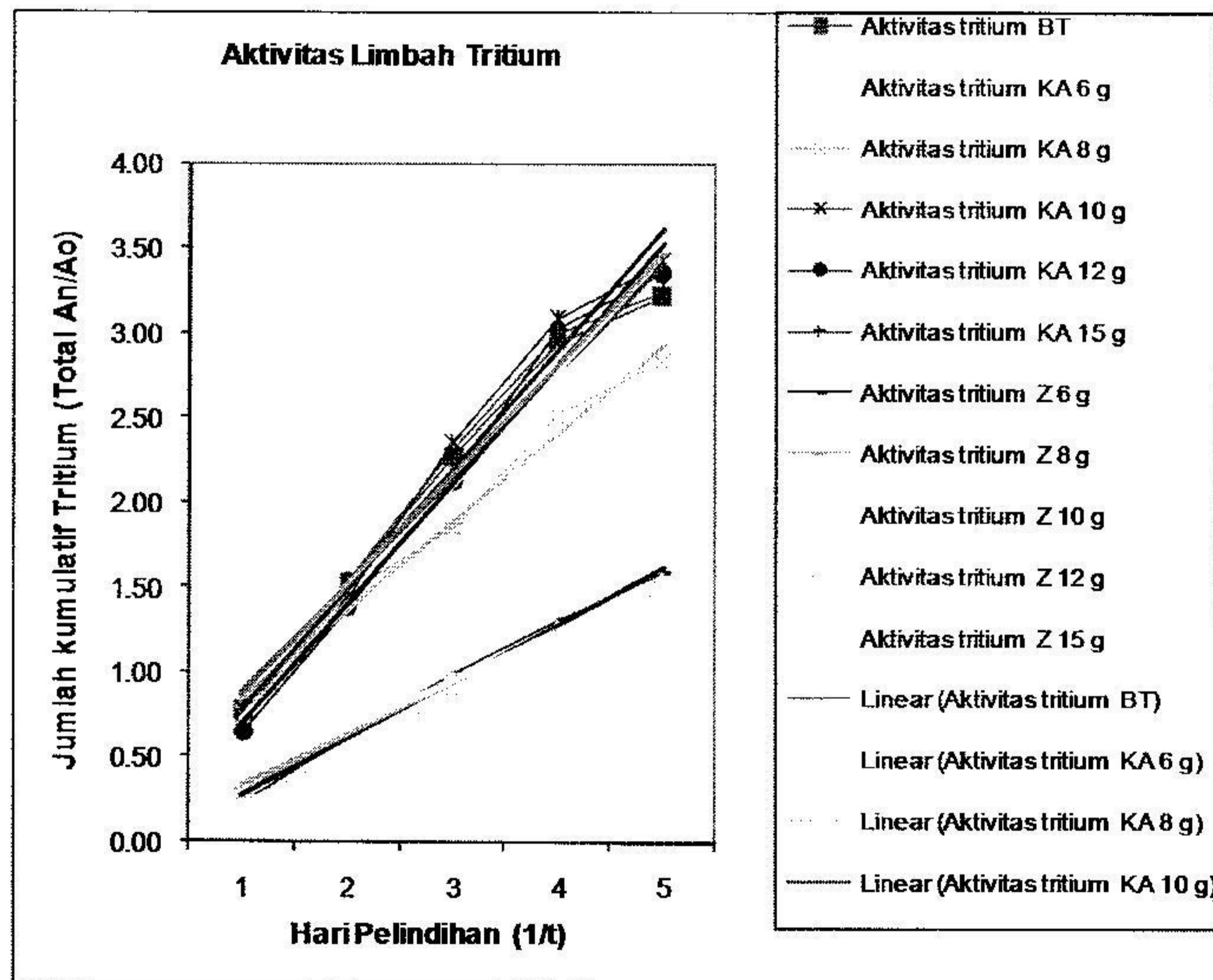
Kelajuan Pelindihan

Pengujian laju pelindihan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar limbah tritium dalam blok semen yang terlepas ke luar lingkungan. Dalam hasil penelitian ini pada terlihat bahwa ternyata limbah tritium dapat berkurang konsentrasinya setelah dilakukan penyerapan oleh karbon aktif dan zeolit (Tabel 4).

Berdasarkan tabel tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara aktivitas tritium yang terlindi ($\Sigma A_n/A_0$) versus hari pelindihan ($1/t$) yang dapat dilihat pada Gambar 1,

Tabel 4. Data Konsentrasi Tritium Dalam Bq/cc (Konsentrasi Tritium Awal = $2,745 \pm 0.02$ Bq/cc)

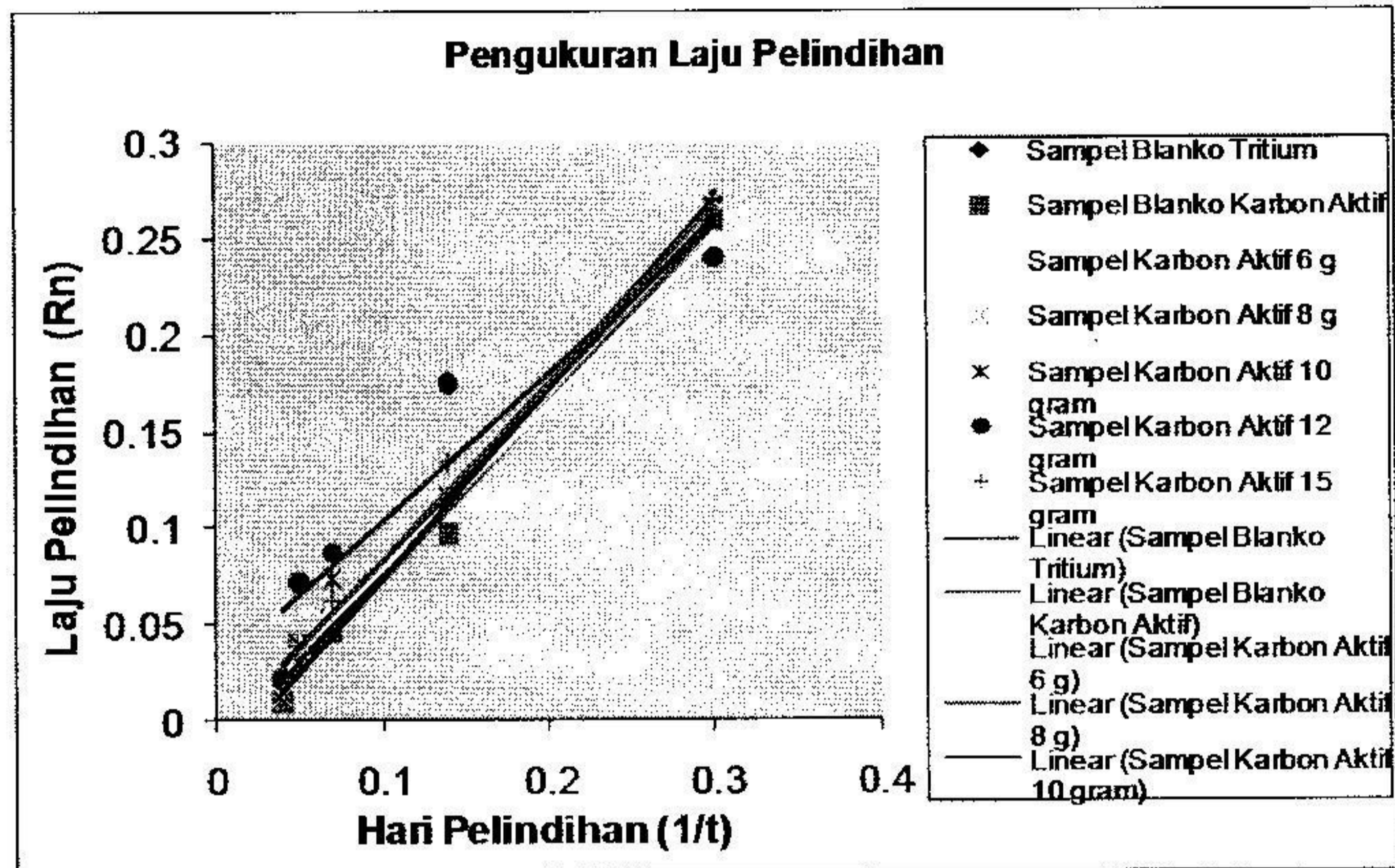
No	Sampel	Konsentrasi Tritium Dalam Hari ke-				
		3	7	14	21	28
1	Blanko Tritium	2.145 ± 0.03	2.059 ± 0.03	2.040 ± 0.03	1.880 ± 0.03	0.742 ± 0.10
2	Blanko Karbon aktif	1.982 ± 0.03	1.949 ± 0.03	1.858 ± 0.03	2.411 ± 0.02	0.764 ± 0.02
3	Blanko Zeolit	0.892 ± 0.10	0.877 ± 0.1	1.905 ± 0.03	0.677 ± 0.2	0.853 ± 0.10
4	Karbon aktif 6 gram	1.902 ± 0.03	1.909 ± 0.03	2.028 ± 0.03	2.066 ± 0.03	1.392 ± 0.05
5	Karbon aktif 8 gram	2.052 ± 0.03	1.981 ± 0.03	1.041 ± 0.08	1.885 ± 0.03	0.869 ± 0.10
6	Karbon aktif 10 gram	1.934 ± 0.03	2.010 ± 0.03	2.532 ± 0.02	2.037 ± 0.03	0.908 ± 0.10
7	Karbon aktif 12 gram	1.780 ± 0.03	2.033 ± 0.03	2.030 ± 0.03	2.485 ± 0.02	0.926 ± 0.10
8	Karbon aktif 15 gram	2.006 ± 0.03	2.256 ± 0.03	2.089 ± 0.03	1.940 ± 0.03	0.669 ± 0.20
9	Zeolit 6 gram	0.635 ± 0.20	1.085 ± 0.1	0.994 ± 0.10	0.873 ± 0.10	0.774 ± 0.10
10	Zeolit 8 gram	0.837 ± 0.10	0.936 ± 0.1	0.890 ± 0.10	0.769 ± 0.10	0.749 ± 0.10
11	Zeolit 10 gram	0.964 ± 0.10	0.916 ± 0.1	0.763 ± 0.10	0.779 ± 0.10	0.811 ± 0.10
12	Zeolit 12 gram	0.656 ± 0.20	0.781 ± 0.1	0.831 ± 0.10	1.011 ± 0.10	0.800 ± 0.10
13	Zeolit 15 gram	1.069 ± 0.10	0.677 ± 0.1	0.856 ± 0.20	0.887 ± 0.10	0.619 ± 0.20



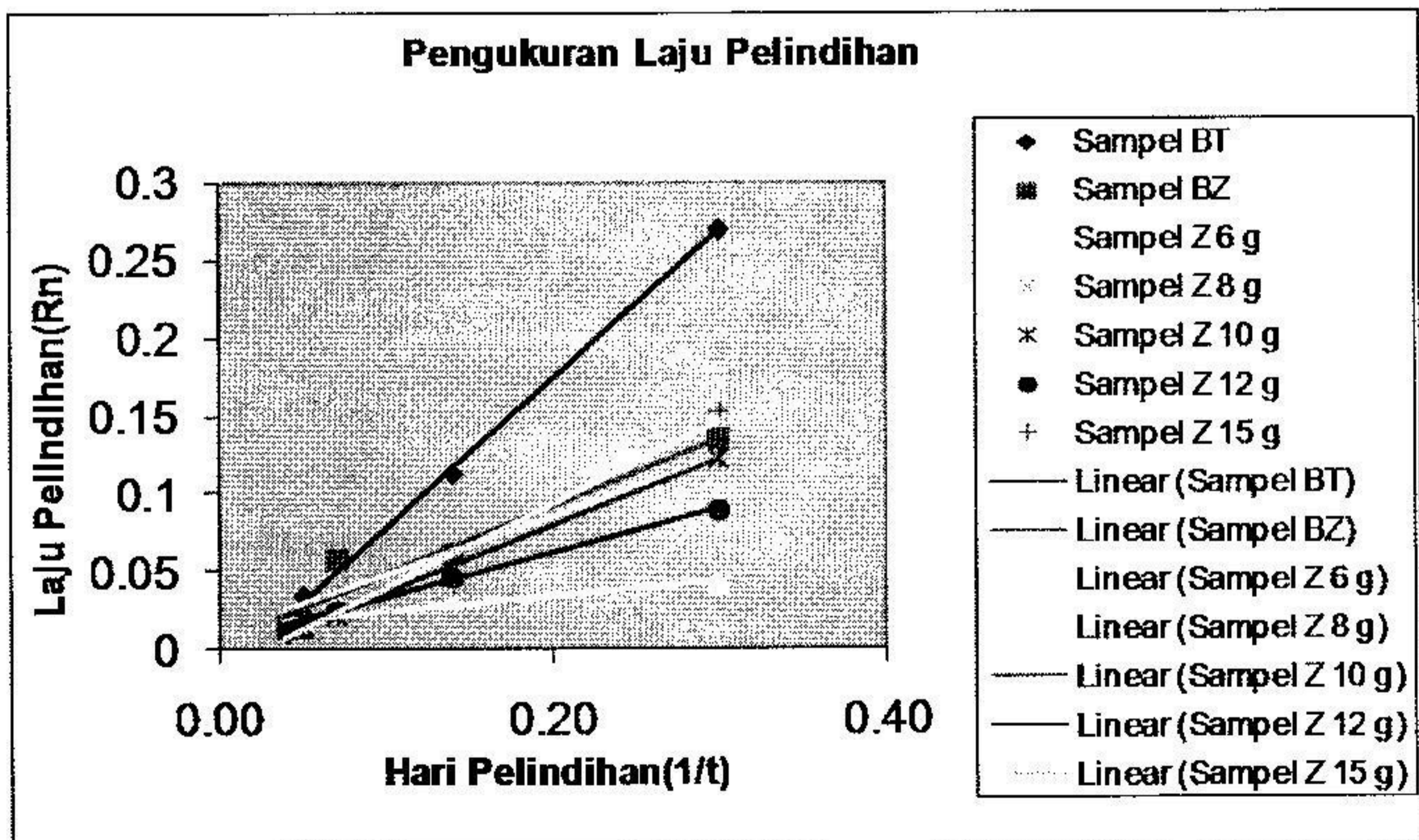
Gambar 1. Grafik Aktivitas Tritium Setelah Pelindihan

Uji pelindihan untuk sampel karbon aktif dilakukan dengan menggunakan tujuh blok sampel selama 28 hari. Berdasarkan data tersebut, dibuat hubungan antara waktu pelindihan ($1/T$) versus laju pelindihan yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Demikian pula uji pelindihan untuk sampel zeolit dilakukan dengan menggunakan tujuh blok sampel selama 28 hari. Berdasarkan data tersebut, dibuat hubungan antara waktu pelindihan ($1/t$) versus laju pelindihan yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Laju Pelindihan Limbah Tritium dengan Karbon Aktif



Gambar 3. Grafik Laju Pelindihan Limbah Tritium dengan zeolit

Dari ketiga gambar di atas terlihat bahwa semakin lama waktu pelindihan maka laju lindi semakin naik dan akhirnya akan mengalami laju yang konstan. Hal ini terjadi karena adanya partikel β dalam limbah tritium yang terlindi selama waktu pelindihan, dimana laju pelindihan akan menjadi konstan. Hal ini disebabkan karena tidak adanya lagi partikel β yang terlindi dan menunjukkan bahwa larutan pelindih sudah jenuh dengan partikel β , sehingga suatu saat keadaan transfer massa ke dalam larutan pelindih nol. Dalam data grafik tersebut terlihat bahwa plot – plot tidak melewati angka nol. Hal Ini terjadi karena pada waktu proses pelindihan, ketika air lindi diambil sebanyak 10 ml untuk dicacah dengan LSC dan kemudian ke dalam sisa air pelindih tersebut ditambahkan lagi air pelindih agar volumenya konstan, air pelindih tersebut mengalami pengenceran konsentrasi limbah tritium sehingga aktivitas awalnya menjadi berkurang.

Kriteria standar IAEA untuk laju pelindihan radionuklida terimobilisasi adalah sebesar : $1,7 \times 10^{-1} - 2,5 \times 10^{-4}$ gram/cm².hari (IAEA, 1991). Dari data yang diperoleh pada percobaan ini, harga laju pelucutan untuk karbon aktif 8 gram adalah sebesar $2,7 \times 10^{-1} - 1,29 \times 10^{-2}$ gram/cm².hari. Sedangkan harga laju pelucutan untuk zeolit 15 gram adalah sebesar $1,528 \times 10^{-1} - 9,5 \times 10^{-3}$ gram/cm².hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Bahan adsorpsi yang paling baik untuk menyerap limbah tritium adalah zeolit. Hal ini diperkuat oleh hasil 3 uji (densitas, kuat tekan dan laju pelindihan) yang lebih besar daripada karbon aktif.
2. Kondisi penyerapan optimum yang dicapai pada karbon aktif terjadi pada karbon aktif dengan berat 8 gram dalam 300 gram semen, dimana dalam data terlihat hasil dari 3 uji yaitu, uji densitas sebesar $1,96 \pm 0,2$ gram/cm³ (standar IAEA 1,70 - 2,50 gram/cm³), uji kuat tekan sebesar 21,00 N/ mm² (standar

IAEA 20 – 50 N/mm²) dan uji laju pelindihan sebesar $2,7 \times 10^{-1} - 1,29 \times 10^{-2}$ gram/cm².hari ($1,7 \times 10^{-1} - 2,5 \times 10^{-4}$ gram/cm².hari).

3. Kondisi penyerapan optimum yang dicapai pada zeolit terjadi pada zeolit dengan berat 15 gram dalam 30 gram semen, dimana dalam data terlihat hasil dari 3 uji yaitu, uji densitas sebesar $1,99 \pm 0,2$ gram/cm³ (standar IAEA 1,70 - 2,50 gram/cm³), uji kuat tekan sebesar 28,26 N/ mm² (standar IAEA 20 – 50 N/mm²) dan uji laju pelindihan sebesar $1,528 \times 10^{-1} - 9,5 \times 10^{-3}$ gram/cm².hari ($1,7 \times 10^{-1} - 2,5 \times 10^{-4}$ gram/cm².hari).

Saran

Perlu dilakukan penelitian kualitas blok semen lebih lanjut yang meliputi ketahanan terhadap panas, ketahanan terhadap radiasi dan degradasi terhadap mikrobiadan karakterisasi tritium secara kimia dalam badan air .

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Teknologi Limbah radiasi (PTLR) BATAN Serpong atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dyer, A., "An Introduction To Zeolit Molekular Sieves". Departement of Chemistry And Applied Chemistry; Universty Of Salford.Uk, 1988.
2. Eisenbud, M., et. al., "Tritium in the Environment, in Behaviour of Tritium in The Environment", Proceedings of A Symposium San Fransisco, IAEA and NEA (OECD), Vienna, 1979.
3. Harsono, Dedi., Panggabean, Sahat M.,Mardini dan Yohan., "Karakteristik Hasil Sementasi Arang Tempurung Penyerap Limbah Tritium". BATAN ; Serpong.1994.
4. Heriyanto, Kuart., " Metode Uji Kualitas Dan Kebutuhan Shell Beton 950 Liter Untuk Pengolahan Limbah Radioaktif Cair dan Semi Cair ", Buletin Limbah Vol.7 no.1, PTLR - BATAN, Jakarta, 2002.
5. International Atomic Energy Agency, *Chemical Durability and Related Properties Of Solidified*

High Level Waste Form, Technical Report Series No.257, IAEA,Vienna, 1985.

6. Las, Tamzil, " *Use of Natural Zeolit for Nuclear Waste Treatment* ", PhD Thesis, Dept.of Applied Chemistry, University of Salford, England, 1989. Hal.20, 30-32.
7. Las, Thamzil., dan Zamroni, Husen., " *Penanganan Karbon Dengan LSA* ",Buletin Limbah Vol.8 no.1, PTLR - BATAN, Serpong, 2003.
17. Martono, Herlan., 1996, " *Bahan Matriks Untuk Mobilisasi Limbah Radioaktif Cair*", Buletin Limbah Vol.5 no.1 , PTLR - BATAN, Serpong, al. 24–25.
18. Subiarto, " *Pengolahan Limbah Radioaktif (Sr-90) Dengan Arang Aktif Lokal Dengan Metode Kolom*", Hasil Penelitian, ISSN 0852-2979, PTLR – Serpong, 2002. Hal.72-73.
19. Syarbaini., " *Distribusi Tritium Di Lingkungan*", Buletin Limbah Vol.5 no.1, PTLR - BATAN, Jakarta, 1996. Hal. 28 – 30.
20. Tjahaja, P.I., Sukmabuana. Putu., " *Tritium, Radionuklida Yang Perlu Mendapat Perhatian*", Prosiding Pertemuan Ilmiah Keselamatan Radiasi Lingkungan. P3KRBIN-BATAN, Bandung,1998: 19-25.