

## STUDI PENCUPLIKAN PASIF TRITIATED WATER (HTO) DI UDARA DENGAN ABSORBEN MOLECULAR SIEVE

Poppy Intan Tjahaja<sup>\*</sup>, Putu Sukmabuana<sup>\*</sup>, Zulfakhri<sup>\*</sup>, Widanda<sup>\*</sup>,  
Mulyono Hasyim<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir, BATAN

<sup>\*\*</sup> Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir, BATAN

### ABSTRAK

**STUDI PENCUPLIKAN PASIF TRITIATED WATER (HTO) DI UDARA DENGAN ABSORBEN MOLECULAR SIEVE.** Pencuplikan pasif *tritiated water* (HTO) di udara menggunakan absorben *molecular sieve* telah dipelajari untuk mengetahui kemampuan pencuplik. Pencuplik pasif dibuat dari wadah plastik yang tertutup, pada tutupnya diberi satu atau dua buah lubang dengan bentuk bulat dan diberi pipa sepanjang 4 cm untuk tempat masuknya udara. Jumlah lubang dan posisi pipa divariasikan untuk mencari bentuk pencuplik yang paling baik. Wadah plastik diisi dengan absorben *molecular sieve* 5A (MS5A), ditimbang, selanjutnya dipapari dengan udara yang mengandung HTO selama 40 jam. Pencuplik pasif kemudian ditimbang kembali dan MS5A dikeluarkan dari pencuplik. *Molecular sieve* 5A dipanaskan pada suhu 350 °C sambil dialiri gas nitrogen. Uap air yang terlepas dari MS5A ditangkap dengan cara pengembunan, kemudian dicacah dengan pencacah sintilasi cair (*liquid scintillation counter*, LSC). Selisih berat MS5A sebelum dan sesudah dipapari dievaluasi untuk menentukan koefisien difusi uap air dari udara ke dalam wadah. Nilai koefisien difusi bervariasi berdasarkan bentuk pencuplik, yaitu  $2,5 \times 10^{-4}$  sampai  $7,1 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/jam. Hasil pengukuran dengan LSC memperlihatkan adanya HTO yang terserap oleh MS5A dalam pencuplik pasif dengan aktivitas sebesar 1 sampai 566 mBq/L udara. Ini membuktikan bahwa pencuplik pasif dengan absorben MS5A dapat digunakan untuk mencuplik HTO di udara. Berdasarkan perhitungan koefisien difusi dan evaluasi aktivitas tritium di udara ditentukan bentuk pencuplik pasif yang terbaik, yaitu pencuplik dengan satu lubang difusi dan tanpa pipa. Pencuplik pasif tersebut kemudian digunakan untuk mencuplik udara dalam ruang reaktor TRIGA 2000, P3TKN, BATAN, yang sedang tidak dioperasikan, dan diperoleh hasil konsentrasi tritium di udara ruang reaktor sebesar 67 mBq/L. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa pencuplik pasif mampu mencuplik tritium dalam HTO di udara sebesar 92%.

**Kata kunci :** tritium, *tritiated water*, HTO di udara, absorben, *molecular sieve*

## ABSTRACT

**STUDY ON ATMOSPHERIC TRITIATED WATER (HTO) PASSIVE SAMPLING USING MOLECULAR SIEVE ABSORBENT.** Tritiated water (HTO) passive sampling using molecular sieve absorbent has been studied to know the performance of the sampler. The passive samplers were made from plastic containers with cap, one or two circle diffusion opening were made on the cap, and a 4 cm of PVC pipe was installed on the opening. The number of diffusion openings and pipes position were varied to obtain the best form of the sampler. The plastic containers were then filled with molecular sieve 5A (MS5A) absorbent, weighed, and exposed to HTO containing air in a simulation box for about 40 hours. The sampler were again weighed and then MS5A were put out of the container. Molecular sieve 5A were heated at 350 °C under nitrogen gas flow. The vapor released from MS5A was trapped by condensation, and the trapped water were then counted using liquid scintillation counter (LSC). The difference of MS5A mass before and after exposure were then evaluated to determine the diffusion coefficient. The value of diffusion coefficient obtained were varied from  $2.5 \times 10^{-4}$  to  $7.1 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/h. The activity measurements using LSC showed the presence of HTO absorbed by MS5A with activities of 1 to 566 mBq/L air. This indicated that passive samplers with MS5A absorbent can be used to collect atmospheric HTO. According to the coefficient diffusion value and the tritium activity, it was determined for the best passive sampler, i.e. sampler with one diffusion opening and without pipe. The passive sampler was then used for atmospheric HTO sampling on TRIGA 2000 reactor hall, P3TkN, BATAN, which was not being operated, and it was obtained the concentration of 67 mBq/L air. According to this experiment, the samplers were capable to collect atmospheric tritium on HTO about 92%.

**Key words :** tritium, tritiated water, atmospheric HTO , absorbent, molecular sieve

## PENDAHULUAN

Dari kegiatan operasi normal reaktor nuklir biasanya dihasilkan produk samping bahan radioaktif. Produk samping bahan radioaktif yang berbentuk padatan dapat dibiarkan tetap berada dalam daerah yang terkontrol, akan tetapi untuk produk radioaktif yang berbentuk gas dan unsur yang bersifat mudah menguap sulit dicegah lepasannya ke lingkungan. Salah satu radionuklida yang berpotensi terlepas ke lingkungan akibat operasi normal reaktor nuklir, adalah tritium (<sup>3</sup>H) dalam bentuk

molekul air atau *tritiated water* (HTO). Tritium dihasilkan dari reaksi aktivasi neutron dengan  ${}^6\text{Li}$  dan  ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^{10}\text{B}$  yang terlarut dalam air pendingin primer, serta dengan  ${}^2\text{H}$  yang secara alamiah terdapat dalam air pendingin primer reaktor, berturut-turut melalui reaksi  ${}^6\text{Li} (n,\alpha){}^3\text{H}$ ;  ${}^7\text{Li} (n,n\alpha){}^3\text{H}$ ;  ${}^{10}\text{B} (n,2\alpha){}^3\text{H}$ ; dan  ${}^2\text{H} (n,\gamma){}^3\text{H}$ . Melalui proses penguapan, tritium yang berada dalam air pendingin primer akan terlepas ke udara dalam bentuk HTO.

Tritium mempunyai waktu paro yang relatif panjang, yaitu 12,4 tahun, sifatnya sama seperti hidrogen apabila masuk ke dalam tubuh manusia baik melalui pernafasan, pencernaan, maupun absorpsi kulit, akan menyebar ke seluruh jaringan kemudian terikat pada jaringan dan akhirnya dapat menimbulkan kerusakan pada struktur DNA. Oleh karena itu untuk tujuan keselamatan pekerja maupun lingkungan perlu dilakukan pemantauan kandungan HTO di udara.

Pemantauan HTO di udara biasanya dilakukan dengan cara mengambil cuplikan udara dan kemudian aktivitasnya diukur. Metode pengambilan cuplikan udara selama ini dilakukan menggunakan teknik pencuplikan aktif, yaitu dengan menghisap udara memakai pompa, dan kemudian melewatkan udara ke dalam tabung yang didinginkan (metode pengembunan) atau tabung yang berisi air (metode penggelembungan) [1, 2]. Pengambilan cuplikan dengan cara ini mempunyai beberapa kelemahan yaitu pada pengoperasiannya memerlukan pompa, sehingga pelaksanaannya tidak mudah dan memerlukan biaya. Pada penelitian ini akan dicoba metode lain dalam pencuplikan HTO di udara, yaitu dengan metode pencuplik pasif yang dalam pelaksanaannya diharapkan lebih mudah dan murah. Pencuplikan HTO secara pasif pernah dilakukan dengan menggunakan air demineralisasi [3] dan *silica gel* sebagai absorben [4]. Pencuplik pasif dengan absorben air demineralisasi mempunyai kemampuan mencuplik relatif sama dengan pencuplikan secara aktif (koefisien regresi,  $r = 0,99$ ). Karena menggunakan air sebagai absorben maka untuk pencuplikan di lapangan dirasakan kurang sesuai, sehingga perlu diusahakan

penggunaan absorben lain yang penanganannya di lapangan lebih praktis. Selain dengan air, pernah dilakukan pula pencuplikan pasif dengan absorben padat, yaitu *silica gel*. Dengan absorben padat *silica gel*, hasil yang diperoleh belum memuaskan, karena kemampuannya dalam mencuplik HTO kecil sekali dibandingkan dengan kemampuan pencuplik aktif. Pada penelitian ini dicoba absorben padat lainnya yaitu *molecular sieve 5A* (MS5A) untuk mencuplik HTO di udara. Pencuplik pasif dibuat dengan memanfaatkan wadah plastik yang ada di pasaran.

Absorben MS5A merupakan suatu senyawa kelat yang dapat mengikat bahan lain ke dalam molekulnya yang berongga-rongga. Rongga atau lubang pada molekulnya bersifat khusus, seperti sangkar atau terowongan. Menurut IIDA [5] MS5A mampu menyerap hampir seluruh uap air di udara sampai 20% dari berat MS5A.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan absorben padat MS5A dalam mencuplik HTO di udara.

## TATA KERJA

### 1. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pencuplik pasif, perangkat alat untuk pemaparan uap HTO, perangkat alat untuk proses *recovery* uap HTO, vial sintilasi berkapasitas 20 mL, dan pencacah sintilasi cair (LSC) merek Packard model Tri Carb 2550.

Pencuplik pasif yang digunakan, dibuat dengan mengacu pada bentuk pencuplik pasif yang dirancang oleh IIDA. [5] dan FUKUI [6] untuk pemantauan lingkungan, yaitu berupa wadah plastik yang banyak dijual di pasaran dengan ukuran 22 X 15,5 X 7 cm<sup>3</sup> dan volume 2076 cm<sup>3</sup>. Pada bagian tutup diberi lubang dengan diameter 3,5 cm untuk tempat difusi udara dari luar ke dalam wadah atau sebaliknya.

Lubang tempat difusi udara dibuat bervariasi dalam hal jumlah, dengan atau tanpa pipa, dan posisi pipa, seperti yang tertera pada Tabel 1 dan Gambar 1. Setiap variasi pencuplik dibuat sebanyak tiga buah.

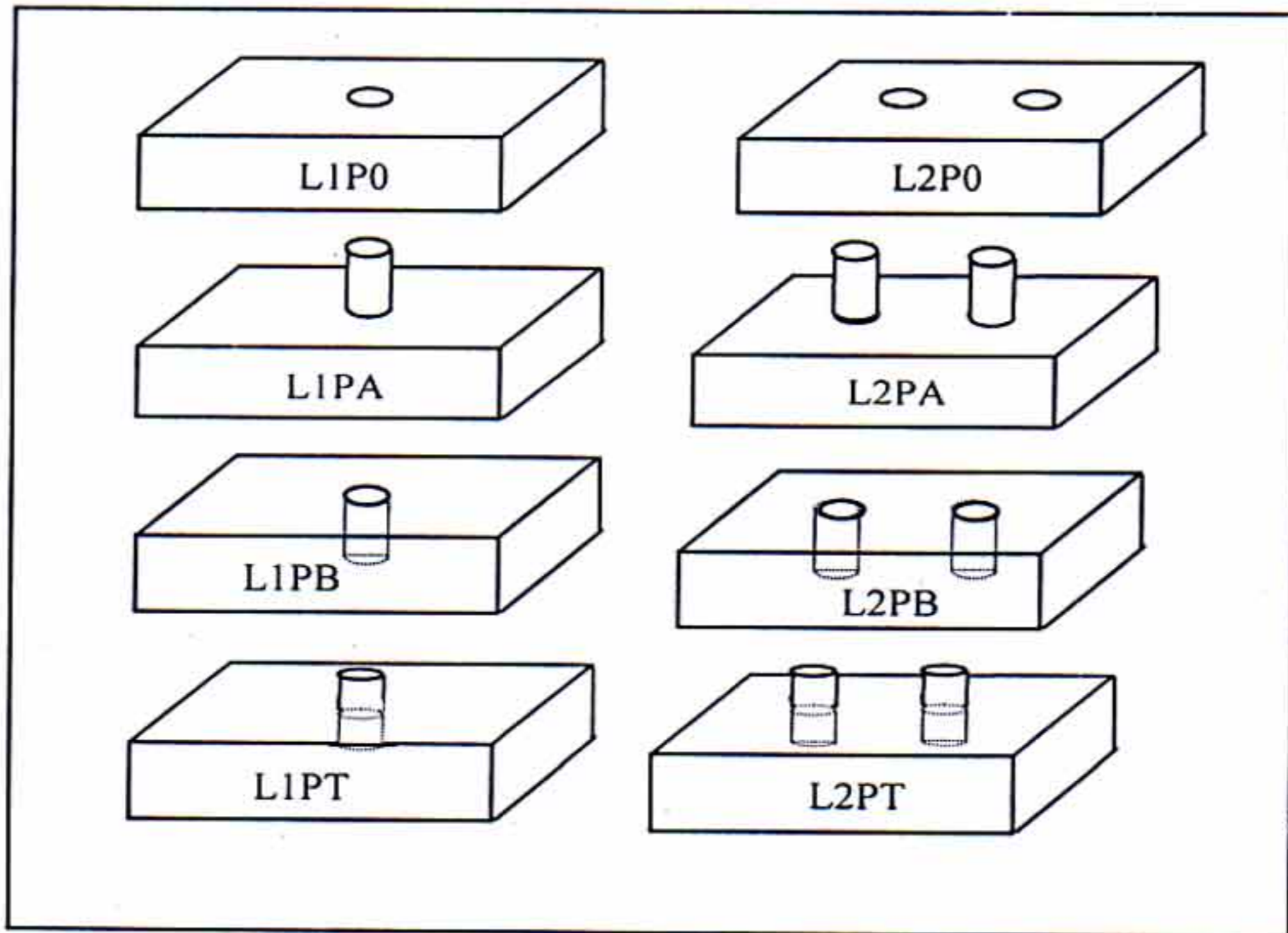
Perangkat alat untuk pemaparan uap HTO berupa sebuah kotak terbuat dari gelas pleksi dengan volume 680,76 L yang dilengkapi dengan higro-termometer dan dihubungkan dengan sistem pembangkit uap HTO (Gambar 2). Sistem pembangkit uap HTO terdiri dari sebuah tabung penggelembung, pemanas (*hot plate*), dan pompa.

Perangkat alat untuk proses *recovery* uap HTO terdiri dari sebuah tungku, dan tabung gelas untuk pemanasan yang satu ujungnya dihubungkan ke tabung gas nitrogen dan ujung lainnya dihubungkan ke tabung pengembunan di dalam termos es.

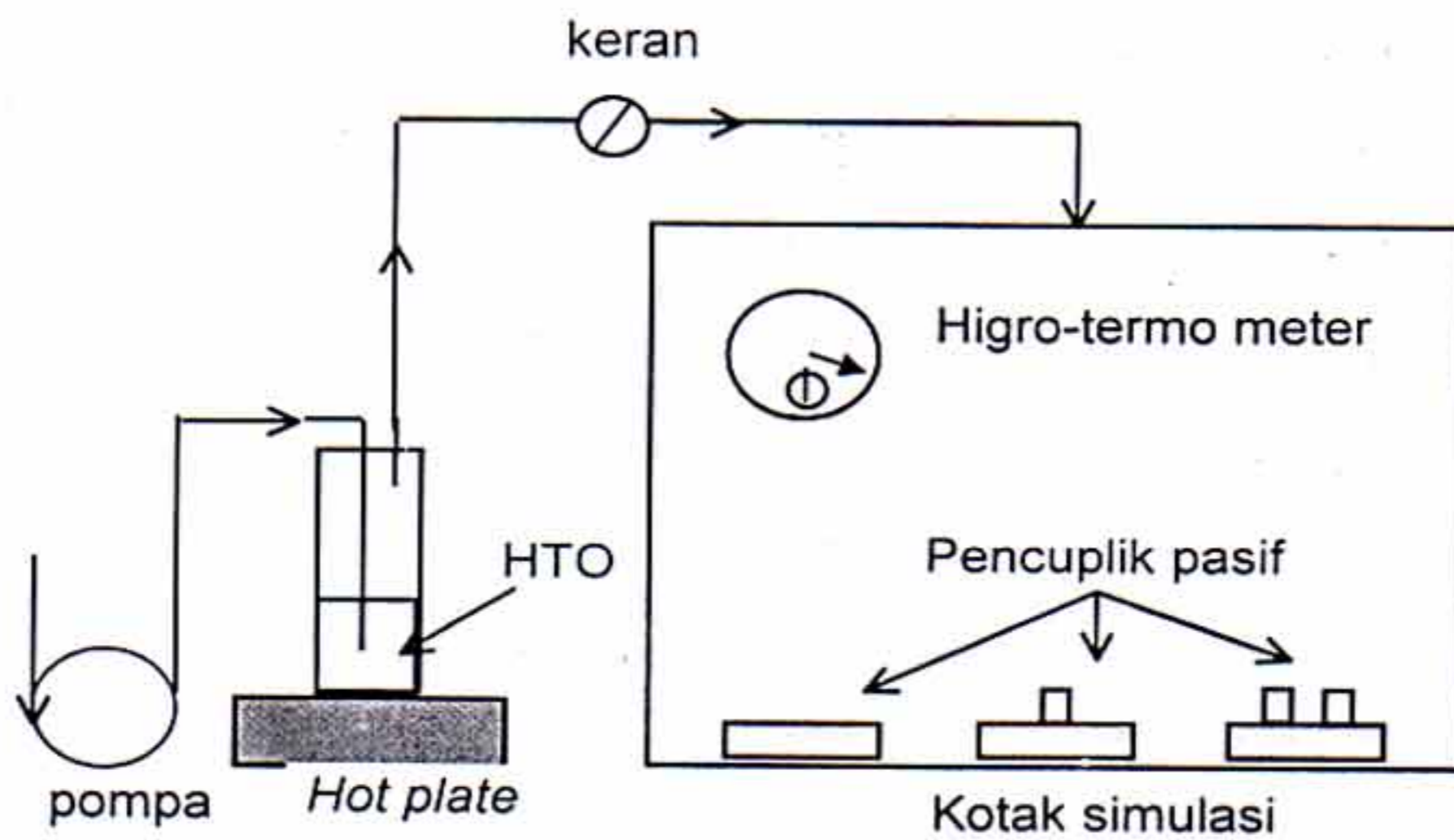
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah HTO dengan aktivitas 1200 Bq, MS5A berbentuk pelet dengan ukuran 1/8 inci, dan sintilator *scinti frese*

Tabel 1. Variasi bentuk pencuplik pasif

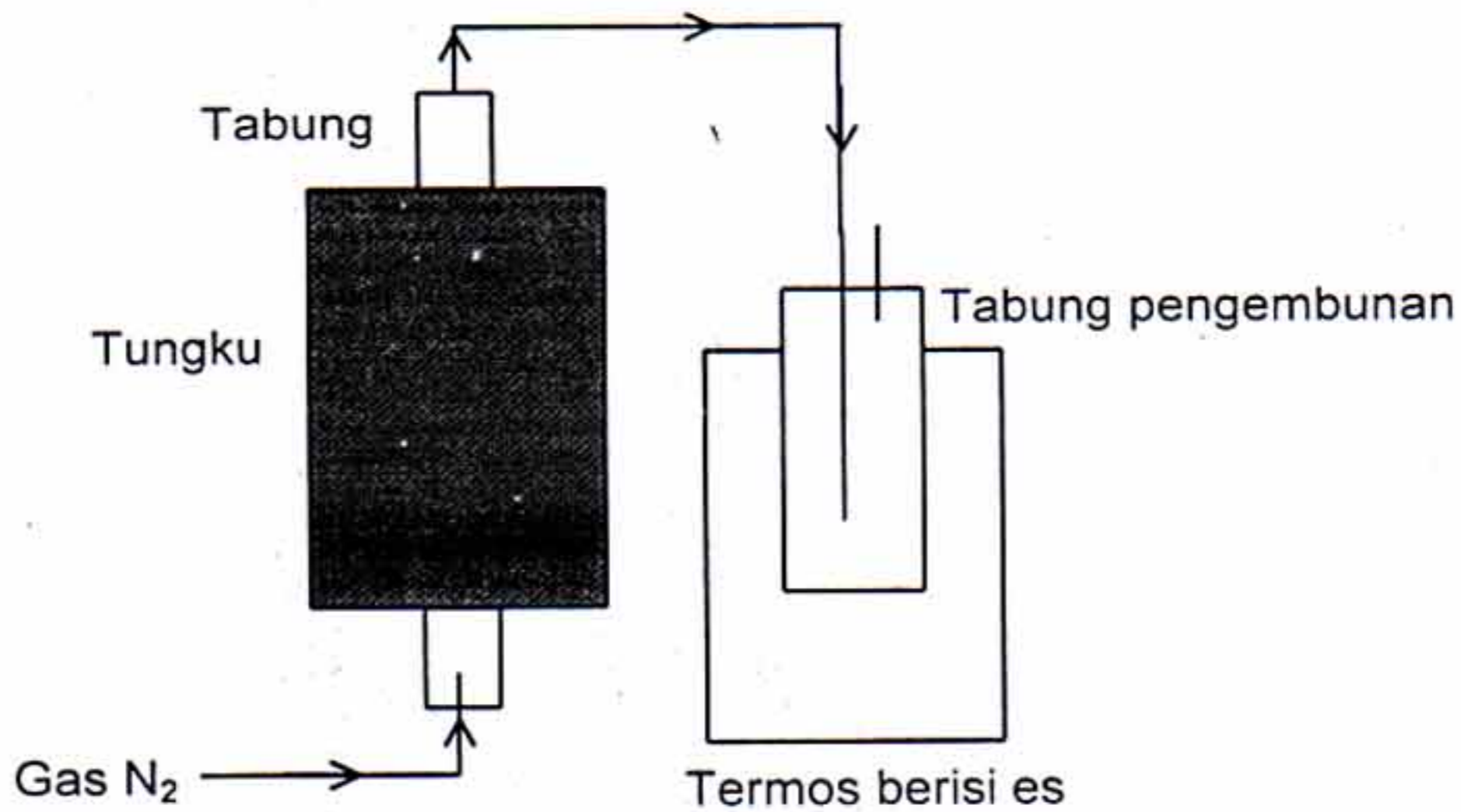
No.	Kode	Jumlah lubang	Letak pipa
1.	L1P0	Satu	Tanpa pipa
2.	L1PA	Satu	Ke arah luar
3.	L1PB	Satu	Ke arah dalam
4.	L1PT	Satu	Ke arah luar dan dalam
5.	L2P0	Dua	Tanpa pipa
6.	L2PA	Dua	Ke arah luar
7.	L2PB	Dua	Ke arah dalam
8.	L2PT	Dua	Ke arah luar dan dalam



Gambar 1. Variasi bentuk wadah pencuplik pasif.



Gambar 2. Pemaparan pencuplik pasif dengan uap HTO dalam kotak simulasi.



Gambar 3. Perangkat untuk *recovery* uap HTO.

## 2. Pemaparan pencuplik pasif dengan udara yang mengandung HTO

Pencuplik pasif diisi dengan MS5A sehingga mempunyai ketebalan kira-kira 1 cm dan ditimbang, kemudian diletakkan di dalam kotak simulasi. Ke dalam kotak dialirkan udara yang mengandung HTO yang berasal dari penggelembungan HTO dengan aktivitas 1200 Bq, sampai diperoleh kelembapan udara yang stabil di dalam kotak simulasi, kira-kira sebesar 90%.

Setelah dicapai kelembapan yang stabil keran udara dari sistem pembangkit ditutup, dan pencuplik pasif dibiarkan di dalam kotak simulasi selama 40 jam.

## 3. *Recovery* HTO dari absorben

Setelah waktu pemaparan selesai, pencuplik pasif ditimbang kembali dan absorben dikeluarkan dari wadah. Absorben kemudian dipanaskan menggunakan tungku tabung pada suhu 350 °C sambil dialiri gas nitrogen. Uap HTO yang terlepas dari proses pemanasan ditampung dengan cara pengembunan.

#### 4. Pengukuran HTO dengan LSC

Air hasil *recovery* (kondensat) kemudian diambil sebanyak 1 mL dan dicampur dengan sintilator *scinti ferse* sebanyak 14 mL, dikocok dan didiamkan di tempat gelap dan dingin sampai diperoleh campuran yang stabil (kira-kira 24 jam). Cuplikan kemudian diukur dengan menggunakan LSC selama 60 menit.

#### 5. Pengukuran HTO di ruang reaktor

Dari berbagai bentuk pencuplik pasif yang diuji kemampuannya dalam mencuplik HTO, dipilih satu yang mempunyai kemampuan paling baik dalam menyerap HTO. Kemampuan dalam mencuplik HTO ditentukan berdasarkan besarnya koefisien difusi uap air dari udara ke dalam pencuplik dan berdasarkan besarnya aktivitas HTO yang dapat diserap oleh MS5A dalam pencuplik. Pencuplik pasif terpilih kemudian digunakan untuk mencuplik udara di ruang reaktor TRIGA 2000, P3TkN, BATAN, Bandung pada saat tidak dioperasikan. Pencuplikan dilakukan dengan cara meletakkan pencuplik pasif di dekat permukaan tangki reaktor selama 2, 4, 6, 8, dan 10 hari. Setelah pencuplikan selesai absorben dikeluarkan dari wadah dan dilakukan *recovery* uap air yang terserap. Air hasil *recovery* dicacah dengan LSC.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencuplikan pasif dilakukan dengan memapari pencuplik berisi absorben MS5A dengan udara yang mengandung HTO selama lebih kurang 40 jam. Udara yang mengandung HTO dalam kotak simulasi diperoleh dengan cara menggelembungkan 200 mL HTO dengan aktivitas 1200 Bq selama 6 jam. Dengan menggunakan persamaan (1) [6], akan diperoleh konsentrasi HTO di udara kotak simulasi sebesar 610 mBq/L.



$$C = C_w \left( \frac{k_c + k_e}{k_c \varepsilon^{-1} K^{-1}} \right) \quad (1)$$

- $C$  = konsentrasi  $^3\text{H}$  dalam kotak simulasi (Bq/mL)  
 $C_w$  = konsentrasi  $^3\text{H}$  dalam air (Bq/mL)  
 $k_c$  = konstanta laju perpindahan =  $2,0 \times 10^{-3}$  cm/jam  
 $k_e$  = konstanta laju penguapan =  $1,1 \times 10^{-3}$  cm/jam  
 $\varepsilon$  = rasio isotopik antara uap HTO dan air  
 $K$  = konstanta

$$K = 2,9 \times 10^{-4} P(273 + T)^{-1} R / 100 \quad (2)$$

- $P$  = tekanan uap air jenuh (mmHg) pada suhu  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) = 82,92 mmHg  
 $T$  = suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) = 28  $^{\circ}\text{C}$   
 $R$  = kelembapan relatif (%) = 90%

Setelah pemaparan pencuplik dengan udara yang mengandung HTO selama 40 jam, ternyata terjadi pertambahan berat MS5A sebesar 1 - 4 g, bergantung pada bentuk pencuplik. Ini berarti bahwa *Molecular sieve* 5A di dalam pencuplik mampu menyerap uap air dari udara yang masuk melalui lubang difusi pada tutup pencuplik. Berdasarkan data pertambahan berat kemudian dihitung koefisien difusi menggunakan persamaan (3) [6], dan hasil perhitungan koefisien difusi disarikan dalam Tabel 2.

$$D = \frac{\Delta W \cdot \delta}{n \cdot S \cdot T} \quad (3)$$

- $D$  = koefisien difusi ( $\text{m}^2/\text{jam}$ )  
 $\Delta W$  = kenaikan berat uap air (g)  
 $\delta$  = ketebalan filter (m)  
 $n$  = kerapatan uap air dalam udara ( $\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $S$  = luas penampang lubang difusi ( $\text{m}^2$ )  
 $T$  = lama pencuplikan (jam)

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai koefisien difusi bervariasi berdasar pada bentuk pencuplik, yaitu dari  $2,5 \times 10^{-4}$  sampai  $7,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{jam}$ . Koefisien difusi tertinggi adalah untuk pencuplik dengan satu lubang difusi dan tanpa pipa ( $7,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{jam}$ ), kemudian pencuplik dengan dua lubang tanpa pipa ( $4,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{jam}$ ). Ternyata pemberian pipa pada lubang difusi menyebabkan lambatnya proses difusi uap air dari udara ke wadah pencuplik. Nilai koefisien difusi untuk pencuplik tanpa pipa dengan satu lubang lebih tinggi dari pada dengan dua lubang difusi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan adanya dua lubang difusi mengakibatkan cepatnya peningkatan kelembapan absolut dalam wadah, sehingga fluks uap air ke dalam wadah menjadi menurun, karena aliran difusi dipengaruhi oleh perbedaan kelembapan antara udara di luar pencuplik dengan dalam wadah pencuplik.

Tabel 2. Nilai koefisien difusi uap air dari udara ke dalam wadah pencuplik

No.	Kode pencuplik	$S$ $10^{-4}(\text{m}^2)$	$\Delta W$ (g)	$T$ (jam)	$\delta$ $10^{-4}(\mu\text{m})$	$n$ ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	$D$ $10^{-4}$ ( $\text{m}^2/\text{jam}$ )
1	L1P0	9,62	$3,49 \pm 0,095$	23,25	1,50	32,81	$7,13 \pm 0,197$
2	L1PA	9,62	$1,21 \pm 0,025$	20,50	1,50	33,49	$2,74 \pm 0,056$
3	L1PB	9,62	$1,32 \pm 0,047$	18,75	1,50	33,94	$3,23 \pm 0,115$
4	L1PT	9,62	$1,13 \pm 0,045$	19,50	1,50	30,79	$2,95 \pm 0,120$
5	L2P0	19,23	$4,21 \pm 0,104$	23,25	1,50	32,81	$4,31 \pm 0,110$
6	L2PA	19,23	$2,17 \pm 0,084$	20,50	1,50	33,49	$2,46 \pm 0,095$
7	L2PB	19,23	$2,67 \pm 1,008$	23,25	1,50	32,81	$2,72 \pm 1,031$
8	L2PT	19,23	$2,07 \pm 0,096$	19,50	1,50	30,79	$2,68 \pm 0,127$

**Keterangan :**  $S$  = luas lubang difusi ;  $\Delta W$  = massa air yang terserap oleh MS5A ;  
 $T$  = waktu pemaparan ;  $\delta$  = ketebalan filter ;  $n$  = kerapatan udara di luar pencuplik ;  $D$  = koefisien difusi.

Bentuk wadah pencuplik pasif yang digunakan dalam uji coba ini sudah sesuai dengan yang digunakan oleh IIDA [5] untuk mencuplik udara lingkungan, dibuktikan

dengan besarnya nilai koefisien difusi yang setara, yaitu sebesar  $9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{jam}$ . Pencuplik pasif dengan adsorben MS5A mempunyai nilai koefisien difusi lebih besar dibandingkan dengan pencuplik pasif dengan adsorben *silica gel* ( $1,5 \times 10^{-4} - 4,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{jam}$ ) [4] untuk bentuk pencuplik yang sama. Kenyataan ini membuktikan bahwa jenis adsorben mempengaruhi proses difusi uap air dari udara ke dalam wadah pencuplik. Dapat dikatakan bahwa adsorben MS5A lebih baik dalam menyerap uap air dibandingkan dengan *silica gel* [4], sehingga konsentrasi uap air dalam udara wadah pencuplik cepat menurun dan mengakibatkan terjadinya perbedaan konsentrasi uap air di luar dan di dalam wadah. Perbedaan konsentrasi ini mengakibatkan terjadinya difusi uap air dari luar wadah ke dalam wadah pencuplik.

Uap air yang diserap MS5A diambil dengan cara pemanasan pada suhu  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  dan uap air yang terlepas ditampung dengan cara pengembunan. Air hasil pengembunan (kondensat) dicacah dengan LSC. Konsentrasi tritium dalam kondensat yang diperoleh dari hasil pencacahan kemudian dikalikan dengan kerapatan uap air di udara (Tabel 2) sehingga diperoleh nilai konsentrasi tritium di udara (Tabel 3).

Tabel 3. Konsentrasi tritium dalam udara

No.	Kode pencuplik	Konsentrasi tritium (mBq/L)
1.	L1P0	$566,05 \pm 162,35$
2.	L1PA	$28,89 \pm 17,33$
3.	L1PB	$57,66 \pm 7,86$
4.	L1PT	$15,14 \pm 4,78$
5.	L2P0	$376,75 \pm 168,16$
6.	L2PA	$1,32 \pm 0,56$
7.	L2PB	$83,39 \pm 10,23$
8.	L2PT	$35,39 \pm 6,16$

Dari Tabel 3 terlihat bahwa aktivitas tritium yang tertinggi adalah hasil pencuplikan dengan pencuplik L1P0, yaitu pencuplik dengan satu lubang difusi dan tanpa pipa ( $566,05 \pm 162,35$  mBq/L), kemudian L2P0, yaitu pencuplik dengan dua lubang difusi tanpa pipa ( $376,75 \pm 168,16$  mBq/L). Kenyataan ini sesuai dengan nilai koefisien difusi uap air dari udara ke dalam pencuplik, yaitu nilai koefisien difusi terbesar adalah untuk pencuplik L1P0, kemudian pencuplik L2P0 (Tabel 2). Kaitan antara nilai koefisien difusi dengan aktivitas tritium di udara diplotkan dalam grafik (Gambar 4) yang menghasilkan persamaan (4).

$$y = -301,66 + 126,74x \quad (4)$$

$y$  = konsentrasi tritium di udara (mBq/L)

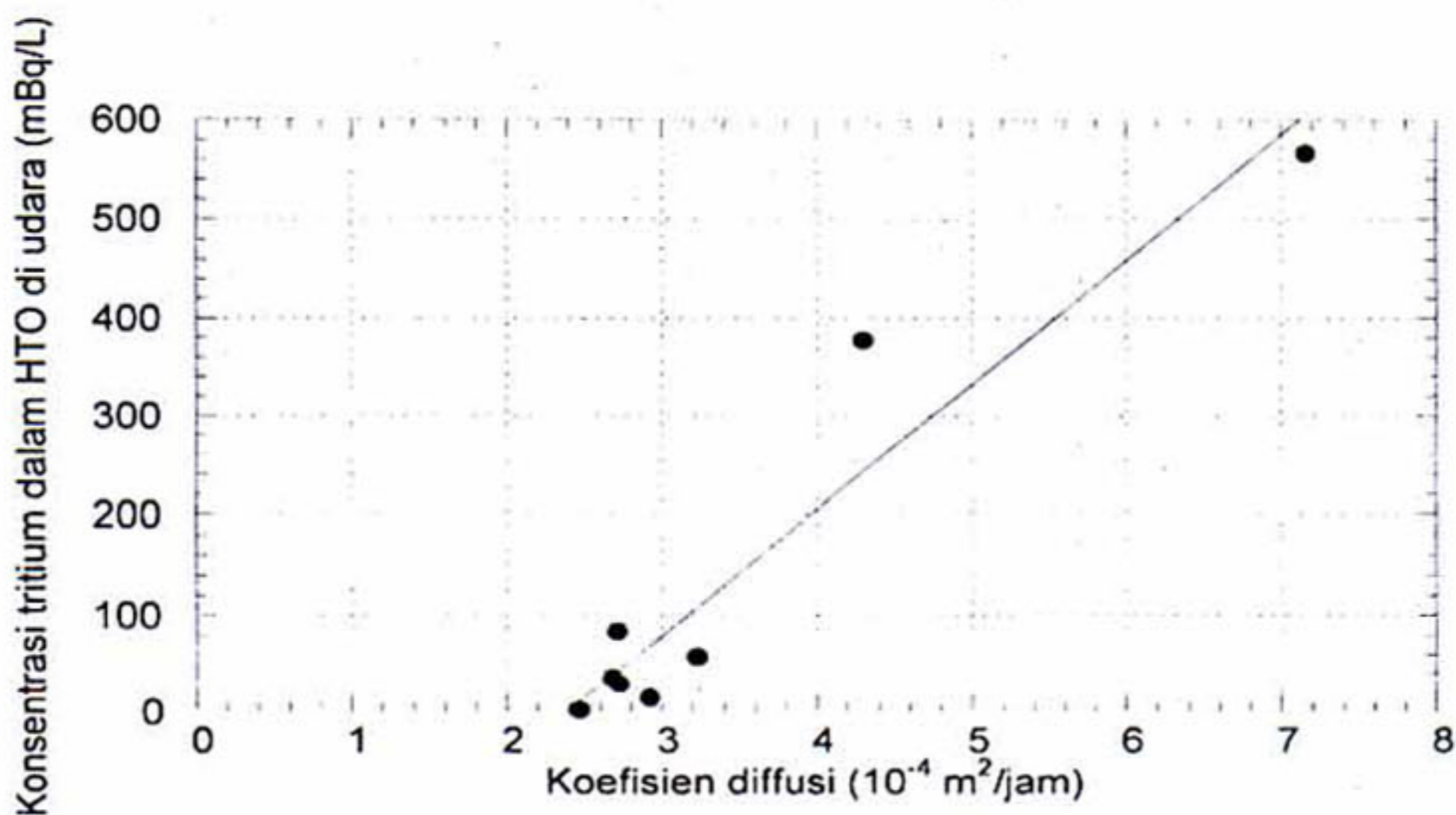
$x$  = koefisien difusi ( $m^2/jam$ )

Semakin besar nilai koefisien difusi uap air dari luar ke dalam wadah pencuplik semakin besar kemampuan pencuplik mencuplik HTO di udara (koefisien regresi =  $r = 0,96$ ). Nilai koefisien difusi menggambarkan kemampuan pencuplik pasif dalam mencuplik uap air di udara, yang kemudian kemampuan tersebut juga tergambar dari konsentrasi tritium yang dicuplik.

Berdasarkan nilai koefisien difusi tertinggi ( $7,1 \times 10^{-4}$   $m^2/jam$ ) dan juga berdasarkan aktivitas tritium dalam uap air yang tertinggi ( $566,05$  mBq/L) diketahui bentuk pencuplik pasif yang terbaik, yaitu L1P0. Dengan membandingkan nilai konsentrasi tritium yang dicuplik menggunakan pencuplik L1P0 terhadap konsentrasi tritium dalam kotak simulasi ( $610$  mBq/L) diperoleh nilai efisiensi pencuplik pasif dalam mencuplik tritium dalam HTO di udara, yaitu sebesar 92 %.

Pencuplik pasif L1P0 kemudian digunakan untuk mencuplik udara dalam ruang reaktor TRIGA 2000, P3TkN, BATAN, Bandung, dengan lama waktu pencuplikan divariasikan dari 2 hari sampai 10 hari. Hasilnya dicantumkan pada Tabel 4.

Konsentrasi tritium di ruang reaktor bervariasi berdasar pada lamanya pencuplikan, yaitu dari 57,8 mBq/L sampai 67,1 mBq/L. Dengan waktu pencuplikan selama 2 hari ternyata pencuplik pasif ini sudah dapat digunakan untuk mendeteksi tritium, walaupun MS5A belum mengalami kejenuhan dalam menyerap uap air. Ini terbukti dari masih adanya sedikit penyerapan uap air pada waktu pencuplikan selanjutnya.



Gambar 4. Kaitan antara nilai koefisien difusi dengan konsentrasi tritium di udara.

Konsentrasi tritium di udara ruang reaktor relatif rendah, karena pada saat dilakukan pencuplikan reaktor tidak sedang dioperasikan. Nilai konsentrasi tritium di udara ruang reaktor TRIGA 2000, P3TkN, BATAN, masih jauh di bawah nilai ambang batas untuk udara yang ditetapkan oleh BAPETEN, yaitu sebesar 7 Bq/L.

Tabel 4. Konsentrasi tritium di udara ruang reaktor TRIGA 2000, P3TkN, BATAN

Lama pencuplikan (hari)	Konsentrasi tritium (mBq/L)
2	57,8
4	56,1
6	64,9
8	63,9
10	67,1

## KESIMPULAN

Berdasar pada uraian unjuk kerja pencuplik pasif dengan absorben MS5A, dapat disimpulkan bahwa pencuplik pasif dengan absorben padat MS5A dapat digunakan untuk mencuplik HTO di udara. Bentuk alat pencuplik mempengaruhi kemampuannya dalam mencuplik tritium di udara. Berdasarkan penelitian ini, bentuk alat pencuplik pasif yang dianggap paling baik adalah pencuplik yang mempunyai satu lubang difusi dan tanpa diberi pipa. Pencuplik ini mampu mencuplik 92% tritium dalam bentuk HTO yang ada di udara.

Dari hasil pencuplikan udara ruang reaktor pada saat tidak dioperasikan dengan menggunakan pencuplik pasif tersebut, diketahui konsentrasi tritium dalam HTO di udara ruang reaktor relatif kecil, yaitu 67 mBq/L.

Metode pencuplikan udara secara pasif dengan menggunakan absorben padat MS5A dapat diterapkan untuk pemantauan HTO di udara, karena metode ini relatif mudah dan murah.