

## UNJUK KERJA PENCUPLIK AKTIF TRITIUM DI UDARA MENGGUNAKAN ABSORBEN SILIKA GEL

Poppy Intan Tjahaja, Putu Sukmabuana dan Zulfakhri

P3TKN – BATAN

### ABSTRAK

UNJUK KERJA PENCUPLIK AKTIF TRITIUM DI UDARA MENGGUNAKAN ABSORBEN SILIKA GEL. Pencuplikan tritium di udara secara aktif dengan menggunakan absorben padat silika gel telah dipelajari unjuk kerjanya untuk mengetahui kemampuannya dalam mencuplik tritium di udara. Absorben silika gel sebanyak lebih kurang 50 g dimasukkan ke dalam kolom gelas dengan diameter 5 cm sehingga mengisi kolom sepanjang 5 cm. Kolom berisi silika gel dipapari udara yang mengandung tritium (HTO) dengan aktivitas bervariasi antara 4 sampai 34 Bq dengan cara mengalirkan udara yang mengandung HTO yang berasal dari generator HTO ke dalam kolom pencuplik. Analisis dilakukan terhadap kapasitas pencuplikan udara dengan menentukan volume penetrasi absolut, kapasitas penyerapan uap air oleh silika gel dengan cara gravimetri, dan kapasitas penyerapan HTO oleh silika gel dengan metode sintilasi. Dari hasil pengujian diketahui bahwa pencuplik aktif dengan jumlah silika gel sebanyak 50 g mampu mencuplik uap air dari sekitar 100 L udara dengan laju penyerapan lebih kurang 15 L/jam. Berdasarkan analisis gravimetri pencuplik dapat mencuplik uap air yang melewatinya dengan efisiensi dalam menyerap uap air mendekati 100 %. Namun demikian efisiensi yang diperoleh dari hasil analisis HTO hanya berkisar antara 42 % sampai 59 %. Metode pencuplikan tritium secara aktif dapat dianggap baik dan dapat digunakan untuk mencuplik tritium dengan aktivitas bervariasi dari 4 Bq sampai 34 Bq. Proses recovery HTO dari silika gel diduga mempengaruhi besarnya efisiensi metode.

**Kata kunci :** Tritium, HTO, pencuplik aktif, absorben, silika gel

### ABSTRACT

THE PERFORMANCE OF ATMOSPHERIC TRITIUM ACTIVE SAMPLER USING SILICA GEL ABSORBENT. The performance of atmospheric tritium active sampler using solid absorbent silica gel was studied to determine the capacity of the sampler. About 50 g of silica gel was packed into a glass column with 5 cm of diameter, so the absorbent filled the column along 5 cm of length. The column with silica gel inside was exposed to water vapor containing tritium (HTC) with varied activities from 4 to 34 Bq generated by an HTO generator. Several analysis were done toward the water vapor sampling capacities by determining absolute penetration volume, the silica gel water vapor sorption capacities using gravimetric method, and the silica gel HTO sorption capacities using scintillation method. According to the analysis results it was obtained that the active sampler using 50 g of silica gel sorbent can collect water vapor from more than 100 L air with average sorption rate of about 15 L/jam. According to the gravimetric analysis it was known that the sorption capability of the sorbent was almost 100% of vapor passing the absorbent. Nevertheless, according to the HTO activity analysis the silica gel absorbent can only absorb 42 % to 59% of HTO passing the absorbent. The method of atmospheric tritium active sampling is relatively reliable and can be applied for atmospheric tritium sampling with the activities of 4 Bq to 34 Bq. The recovery process of HTO seemed to influence the efficiency of the method.

**Key words :** Tritium, HTO, active sampler, absorbent, silica gel

### PENDAHULUAN

Operasi normal reaktor nuklir biasanya menghasilkan produk samping berupa bahan radioaktif yang berbentuk padatan dan

gas. Produk samping bahan radioaktif bentuk padat dapat disimpan di tempat yang terkontrol, sedang untuk bahan radioaktif berbentuk gas sulit dicegah lepasnya ke lingkungan.

Tritium merupakan salah satu radionuklida yang mempunyai potensi besar terlepas dari reaktor nuklir ke lingkungan [1]. Radionuklida tritium merupakan hasil aktivasi materi/unsur yang terlarut dalam air pendingin primer reaktor melalui reaksi inti  ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ ,  ${}^{10}\text{B}(n,2\alpha){}^3\text{H}$ , dan  ${}^2\text{H}(n,\alpha){}^3\text{H}$ . Dari operasi normal reaktor nuklir tritium lepas ke udara, biasanya dalam bentuk HTO, kemudian mengikuti siklus air di alam, dan akhirnya dapat masuk ke dalam tubuh manusia. Di dalam tubuh manusia tritium berada dalam cairan intra sel atau terikat pada molekul organik sel, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan pada molekul DNA akibat radiasi  $\beta$  yang dipancarkannya.

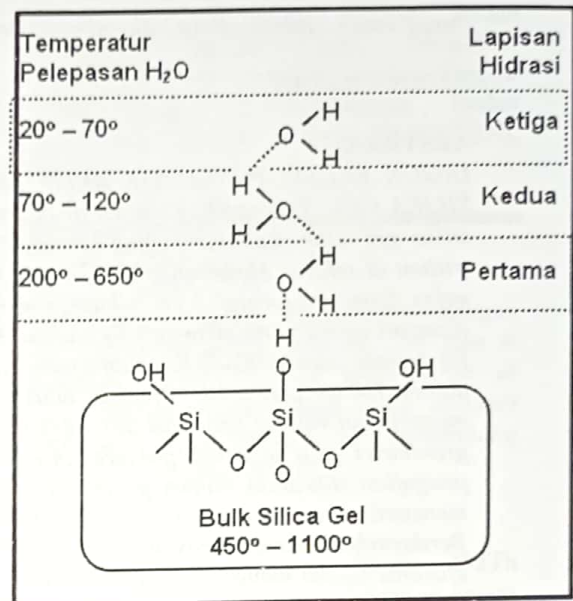
Sampai saat ini, lepasnya  ${}^3\text{H}$  ke lingkungan belum mendapat perhatian yang serius. Hal ini mungkin disebabkan oleh energi yang dipancarkan relatif rendah dan juga toksisitasnya yang tidak dapat diamati dalam jangka waktu pendek. Pemantauan tritium di udara lingkungan belum banyak dilakukan, karena metode pemantauannya masih dalam taraf pengembangan.

Selama ini untuk mengukur konsentrasi tritium di udara dilakukan pencuplikan udara secara aktif dengan menggunakan penggelembung / *bubler* [2,3]. Kelemahan dari metode ini adalah menggunakan media air sebagai absorben, sehingga bila digunakan untuk pencuplikan di lapangan dirasakan kurang efisien karena mudah tumpah dan ada kemungkinan menguap. Untuk itu dicari alternatif lain yaitu mengganti absorben cair dengan absorben padat, seperti silika gel.

Silika gel merupakan suatu senyawa silikat oksida yang mempunyai struktur seperti rumah tawon, berpori-pori dengan permukaan yang sangat luas [4]. Tiap gram silika gel mempunyai afinitas yang sangat besar terhadap air, sehingga banyak digunakan sebagai bahan penyerap uap air, sebagai pengering, dan sebagai katalisator. Silika gel berwarna biru karena garam kobalt klorida yang dapat berubah menjadi warna merah muda apabila terkena uap air. Proses penyerapan uap air oleh silika gel mengikuti lapisan hidrasi yang ada pada permukaannya. Struktur kimia silika gel dapat dilihat pada Gambar 1.

Silika gel dapat dipertimbangkan menjadi bahan absorben dalam pencuplikan tritium di udara karena sifatnya yang mampu menyerap uap air, dan dilengkapi dengan indikator warna sehingga dapat diketahui apabila pencuplikan telah jenuh. Melalui penelitian ini akan dipelajari unjuk kerja dari absorben silika gel yang

bertindak sebagai absorben dalam proses pencuplikan tritium di udara secara aktif.



Gambar 1. Struktur kimia silika gel

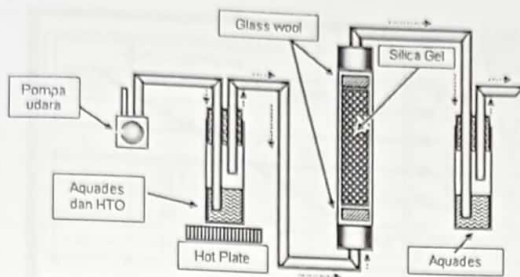
## TATA KERJA

### Alat dan Bahan

Untuk mempelajari unjuk kerja proses pencuplikan tritium di udara diperlukan seperangkat alat pencuplik aktif yang terdiri dari satu tabung pencuplik yang terbuat dari gelas dengan diameter 5 cm panjang 82 cm, sebuah pompa dorong, selang sebagai penghubung rangkaian alat, dan penggelembung untuk memantau laju alir. Rangkaian alat pencuplik aktif dihubungkan dengan generator HTO yang berupa tabung penggelembung yang diisi dengan HTO dengan aktivitas bervariasi, yaitu 0; 130 Bq/ 175 mL; 425 Bq/135 mL; dan 725 Bq/mL, dan pemanas (*hot plate*) (Gambar 2). Alat lain yang diperlukan adalah rangkaian alat untuk mengambil (*recover*) uap air yang telah diserap oleh silika gel, yang terdiri dari tungku tabung untuk memanaskan silika gel, tabung pengembunan, dan termos es (Gambar 3). Untuk preparasi cuplikan dan pengukuran aktivitas HTO diperlukan alat gelas beker, botol plastik, vial sintilasi, pipet mikro dan alat *liquid scintillation counter* (LSC) buatan GA dengan efisiensi 6%.

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah silika gel dengan indikator, HTO, akuades, es batu, sintilator Ultima Gold dari Packard Co. dan gas nitrogen.





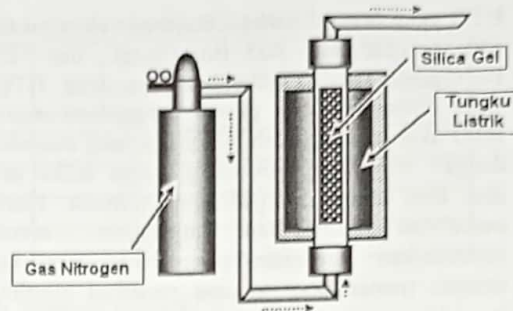
Gambar 2. Rangkaian alat untuk menguji unjuk kerja pencuplik tritium di udara secara aktif.

#### Prosedur Kerja

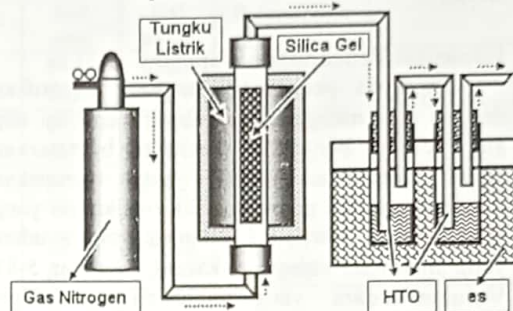
Sebelum digunakan dalam penelitian, silika gel terlebih dahulu diaktifkan dengan cara memanaskan pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan untuk menghilangkan molekul air yang terikat pada silika gel. Silika gel dengan berat lebih kurang 50 gram dimasukkan ke dalam tabung pemanas sehingga mengisi tabung pemanas sepanjang 5 cm, kemudian ditimbang. Tabung pemanas dimasukkan ke dalam tungku tabung kemudian salah satu ujungnya dihubungkan dengan gas nitrogen sedang ujung lainnya dihubungkan dengan udara lingkungan seperti tertera pada Gambar 3.

Pemanasan dilakukan selama lebih kurang 24 jam sampai diperoleh berat konstan, artinya tidak ada lagi molekul air yang menempel pada silika gel. Silika gel di dalam tabung yang telah diaktifkan kemudian digunakan dalam penelitian unjuk kerja pencuplikan uap HTO di udara.

Rangkaian alat untuk menguji unjuk kerja pencuplikan HTO diperlihatkan pada Gambar 2. Pengujian unjuk kerja pencuplik aktif dengan absorben silika gel dilakukan untuk aktivitas HTO sebesar 0; 130 Bq/ 175 mL; 425 Bq/135 mL; dan 725 Bq/175mL. HTO dengan aktivitas tertentu dimasukkan ke dalam tabung pengelembungan generator HTO lalu dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu lebih kurang  $40^{\circ}\text{C}$ . Udara dialirkan ke dalam generator melalui pompa dorong sehingga terjadi pelepasan uap air yang kemudian mengalir ke tabung pencuplik berisi silika gel. Proses pencuplikan ini dilakukan sampai warna silika gel di dalam tabung pencuplik berubah seluruhnya dari biru terang menjadi merah muda. Perubahan warna silika gel diamati dengan mengukur panjang kolom yang telah berubah warna setiap 30 menit sekali. Percobaan pemaparan ini dilakukan dua kali untuk setiap aktivitas HTO.



Gambar 3. Rangkaian alat untuk mengaktifkan silika gel sebelum dipakai dalam penelitian



Gambar 4. Rangkaian alat untuk *recovery* uap air dari silika gel.

Setelah seluruh silika gel di dalam kolom berubah warna menjadi merah muda pencuplikan dihentikan, kolom pencuplik beserta isinya ditimbang kembali, lalu dimasukkan ke dalam tungku. Salah satu ujung tabung pencuplik dihubungkan dengan gas nitrogen sedang ujung lainnya dihubungkan dengan tabung pengembangan yang dimasukkan ke dalam termos berisi es batu (Gambar 4). Tungku dipanaskan pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  sambil dialiri gas nitrogen. Pemanasan dilakukan sampai diperoleh berat konstan, yaitu lebih kurang 24 jam.

Air yang diperoleh dalam tabung pengembangan sebagai hasil proses pemanasan kemudian diambil sebanyak 2 mL, dimasukkan ke dalam vial sintilasi, ditambah dengan sintilator Ultima Gold sebanyak 13 mL, dikocok dan didiamkan di tempat dingin dan gelap selama 24 jam supaya terbentuk campuran yang homogen dan stabil. Campuran kemudian dicacah menggunakan LSC selama 30 menit.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode penentuan konsentrasi tritium dalam bentuk HTO di udara menggunakan pencuplik aktif dengan absorben silika gel telah dipelajari unjuk kerjanya. Pencuplik dipapari uap

HTO yang berasal dari HTO dengan aktivitas 0; 130 Bq/ 175 mL; 425 Bq/135 mL; dan 725 Bq/175mL yang digelembungkan. Uap HTO yang dihasilkan dari proses pengelembungan HTO akan diserap oleh silika gel yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna silika gel dari biru terang menjadi merah muda. Hasil percobaan kemudian dianalisis untuk menentukan kapasitas pencuplikan uap air dengan menentukan volume penetrasi absolut, kapasitas penyerapan uap air oleh silika gel dengan cara gravimetri, dan kapasitas penyerapan HTO oleh silika gel dengan metode sintilasi.

#### Kapasitas Pencuplikan Uap Air

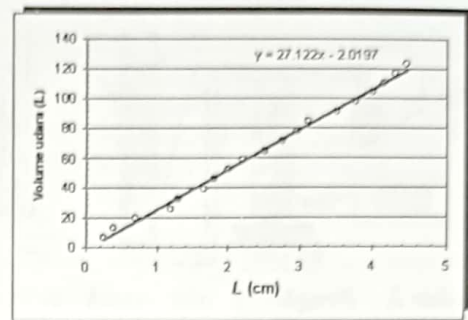
Kapasitas pencuplikan uap air ditentukan dengan cara menganalisis volume penetrasi uap air. Volume penetrasi ditentukan berdasarkan *slope* persamaan garis yang merupakan hubungan antara panjang kolom silika gel yang telah berubah warna ( $L$ ) dengan volume udara yang melewati kolom silika gel (Gambar 5-8). Volume udara yang melewati silika gel ditentukan berdasarkan laju alir uap air (13 L/jam) dikalikan dengan lamanya waktu pemaparan.

Berdasar Gambar 5-8 dapat disimpulkan volume penetrasi relatif dan volume penetrasi absolut seperti diperlihatkan Tabel 1. Volume penetrasi absolut diperoleh dari perkalian antara volume penetrasi relatif dengan tinggi kolom silika gel. Pada percobaan ini digunakan kolom silika gel dengan panjang 5 cm.

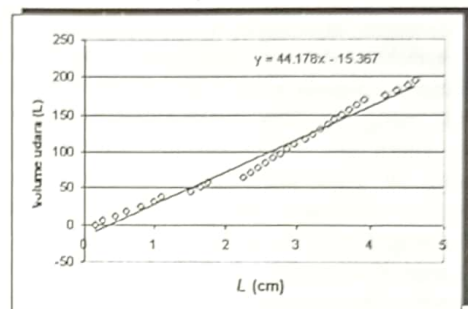
Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa volume penetrasi uap air pada saat melewati sorben silika gel bervariasi dari 136,355 L sampai 270,380 L. Berdasarkan hasil analisis volume penetrasi uap air diketahui bahwa pencuplik aktif dengan sorben silika gel dalam kolom sepanjang 5 cm dan diameter 5 cm mampu mengoleksi uap air dari lebih dari 100 L udara dengan laju penyerapan rata-rata 15,16 L/jam.

#### Kapasitas Penyerapan Uap Air

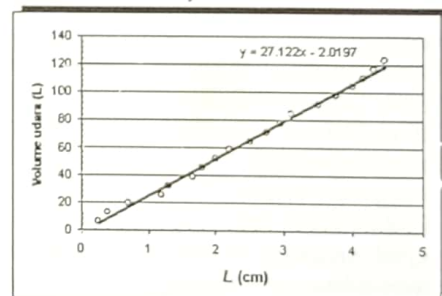
Kapasitas penyerapan uap air oleh silika gel diperoleh dari hasil analisis secara gravimetri. Selama percobaan selalu dilakukan penimbangan silika gel sebelum digunakan untuk mencuplik dan setelah digunakan untuk mencuplik, juga dilakukan penimbangan HTO dalam generator sebelum digelembungkan dan setelah digelembungkan untuk memapari pencuplik. Data analisis gravimetri uap air dapat dilihat pada Tabel 2.



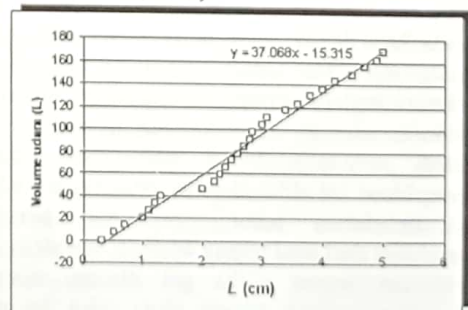
Gambar 5. Grafik untuk menentukan volume penetrasi uap air (HTO = 0 = kontrol)



Gambar 6. Grafik untuk menentukan volume penetrasi uap air (HTO = 130 Bq/ 175 mL)



Gambar 7. Grafik untuk menentukan volume penetrasi uap air (HTC = 425 Bq/ 135 mL)



Gambar 8. Grafik untuk menentukan volume penetrasi uap air (HTO = 725 Bq/175mL)



Tabel 1. Volume penetrasi relatif dan absolut dari pencuplik

No.	Perlakuan	Volume Penetrasi Relatif (L/cm)	Volume Penetrasi Absolut (L)	Waktu Pemaparan (jam)
1.	HTO 0 Bq	27,271	136,355	10
2.	HTO 130 Bq/ 175 mL	44,178	220,890	15
3.	HTO 425 Bq/135 mL	54,076	270,380	15
4.	HTO 725 Bq/175 mL	37,068	185,340	13

Tabel 2. Data hasil analisis *recovery* uap air

No	Perlakuan	Berat (gram)						Waktu Pemaparan (jam)
		HTO awal	HTO akhir	Penguapan	Silika Gel awal	Silika Gel akhir	Penyerapan	
1.	HTO 0 Bq	193,26	187,31	5,95	59,17	65,06	5,89	10
		209,23	200,75	8,48	56,85	64,66	7,81	
2.	HTO 130Bq/175 mL	197,07	188,39	8,68	69,60	77,66	8,06	15
		185,63	179,77	5,86	58,03	63,73	5,70	
3	HTO 425Bq/135 mL	200,00	195,64	4,36	50,00	54,35	4,35	15
		191,49	186,49	5,00	50,00	54,81	4,81	
4	HTO 725Bq/175mL	195,74	189,01	6,73	58,16	64,83	6,67	13
		186,86	178,67	8,19	61,21	69,29	8,08	

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa HTO yang digelembungkan mengalami penurunan berat setelah digelembungkan selama lebih kurang 10 jam sampai 15 jam sampai silika gel di dalam kolom seluruhnya mengalami perubahan warna. Penurunan berat HTO di dalam generator HTO diikuti dengan kenaikan berat silika gel di dalam pencuplik. *Recovery* uap air berdasarkan analisis gravimetri dapat terjadi mendekati 100% dari berat uap air yang menguap dari generator HTO. Dapat dikatakan bahwa silika gel dapat mencuplik semua uap air yang dilepas oleh generator HTO.

#### Kapasitas Penyerapan HTO Oleh Silika Gel

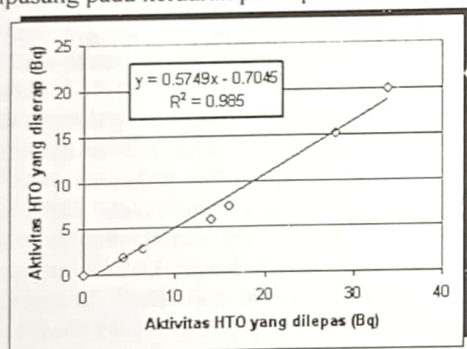
Kemampuan silika gel dalam mencuplik tritium dalam uap air dianalisis dengan metode sintilasi cair menggunakan alat pencacah metode cair (LSC). Analisis *recovery* HTO dilakukan dengan cara mengukur tritium yang diserap oleh silika gel. Silika gel yang telah selesai digunakan untuk mencuplik dipanaskan pada suhu 400 ° C dan uap air yang dilepas oleh silika gel ditampung dengan cara pengembunan. Hasil pengembunan dicacah dengan LSC. Konsentrasi HTO yang diperoleh dari hasil pencacahan dibandingkan dengan besarnya aktivitas HTO yang dilepas oleh generator HTO (Tabel 3). Dengan menggunakan data besarnya penguapan pada Tabel 2 banyaknya HTO yang menguap dapat dihitung.

Tabel 3. Data hasil *recovery* HTO

No.	Perlakuan	HTO dilepas generator (Bq)	HTO diserap Silika Gel (Bq)	Recovery (%)
1	HTO 0Bq	0,00	0,0	0,0000
		0,00	0,0	0,0000
2.	HTO 130 Bq/175 mL	6,45	2,8	43,4243
		4,35	2,0	45,9438
3.	HTO 425 Bq/133 mL	13,93	5,9	42,3475
		15,98	7,4	46,3153
4.	HTO 725 Bq/175 mL	27,88	15,2	54,5166
		33,93	20,0	58,9449

Semakin besar aktivitas HTO yang dilepas ke pencuplik semakin besar pula aktivitas HTO yang diserap oleh silika gel dalam pencuplik dan hubungannya terlihat linear dengan koefisien korelasi sebesar 0,99, seperti dapat dilihat pada Gambar 9. Ini berarti bahwa pencuplik aktif dengan absorben silika gel dapat digunakan untuk mencuplik HTO di udara dengan aktivitas sampai 34 Bq dan diperkirakan juga dapat mencuplik HTO di udara dengan aktivitas lebih dari 34 Bq, karena kurva pada Gambar 9 cenderung masih terus meningkat.

Efisiensi metode yang diperoleh dapat dikatakan baik (antara 40 sampai 64 %) karena efisiensi metode pencuplikan aktif lainnya yang menggunakan penggelembungan efisiensinya sekitar 50% [2]. Keunggulan dari pencuplikan aktif dengan silika gel adalah absorben berupa bahan padat sehingga penanganannya di lapangan lebih mudah bila dibandingkan dengan absorben cair (akuades). Selain itu dengan silika gel uap air HTO yang telah diserap oleh silika gel tidak mudah lepas karena menguap. Ini terbukti dari tidak adanya HTO yang lepas yang terdeteksi pada tabung penampung yang dipasang pada keluaran pencuplik.



Gambar 9. Kaitan antara besarnya aktivitas HTO yang dilepas dari generator HTO dengan HTO yang diserap oleh silika gel (koefisien korelasi = 0,99).

#### KESIMPULAN

Berdasarkan uji yang dilakukan pada pencuplik dapat disimpulkan bahwa pencuplik aktif dengan absorben silika gel dapat digunakan untuk mencuplik HTO di udara. Pencuplik aktif dengan spesifikasi panjang kolom silika gel 5 cm dan diameter kolom 5 cm mampu mengumpul-

kan uap air lebih dari 100 L udara dengan laju penyerapan rata-rata sebesar 15,16 L/jam.

Pencuplik dapat mencuplik uap air yang melewatinya dengan efisiensi mendekati 100 %. Namun demikian efisiensi yang diperoleh dari hasil analisis HTO hanya berkisar antara 40% sampai 64%. Hilangnya tritium dari uap air yang diserap oleh silika gel diperkirakan terjadi pada waktu proses *recovery* uap air menggunakan tungku tabung.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. GLASTONE, S. and JORDAN, W. H., "Nuclear Power Reactor and Its Environmental Effects", American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois, 1980, 166-173.
2. SANTOSO, R. B., Pengukuran tritium di udara reaktor serba guna G. A. Siwabessy dengan teknik penggelembungan, Skripsi, FMIPA Universitas Brauwijaya, Malang, 1994.
3. BUNAWAS, UDIYANI, M., dan BUDI, R., Pengukuran konsentrasi tritium di udara Reaktor Serbaguna G. A. Siwabessy, Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, PSPKR, BATAN, Jakarta, 1994, 204 – 208.
4. PATTON, G. W., COOPER, A. T., and TINKER, M.R., Evaluation of an ambient air sampling system for tritium using silica gel adsorbent columns, Pacific Northwest Laboratory Richland, Washington, 1995, 1.1-4.2.

#### TANYA JAWAB

Wisychudin F.

- Apa pengaruh udara luar pada saat dan setelah SG diaktifkan?. Bagaimana cara mengatasinya?

#### Poppy Intan Cahaya

- Udara luar dapat mempengaruhi SG yang telah diaktifkan. Untuk mengatasinya dipasang 1 kolom kecil SG di bagian ujung tabung pencuplik, sehingga dapat menyerap uap air dari udara sehingga tidak masuk ke dalam tabung pencuplik.