

MENGHITUNG JUMLAH PELEPASAN TRITIUM DARI CEROBONG REAKTOR

Mukhlis Akhadi

PSPKR-BATAN, Jl. Cinere, Pasar Jum'at, Kotak Pos 43 KBYL, Jakarta Selatan

ABSTRAK

MENGHITUNG JUMLAH PELEPASAN TRITIUM DARI CEROBONG REAKTOR. Telah dibahas metode untuk menghitung jumlah pelepasan tritium dari reaktor nuklir ke lingkungan. Sebagian efluen gas yang mengandung tritium dalam bentuk uap HTO yang keluar dari cerobong reaktor dialirkan ke dalam bejana berisi silika-gel. Uap HTO yang terserap silika-gel dikeluarkan lagi dengan air perendam diukur dengan alat cacah pendar cair Aloka LSC-703. Kadar tritium dalam efluen gas dan total pelepasan tritium dari cerobong reaktor dalam jangka waktu tertentu dihitung menggunakan rumus matematika yang cukup sederhana. Metoda ini telah diuji coba untuk menghitung jumlah pelepasan tritium dari Cerobong JRR-3M di JAERI, Jepang. Dari perhitungan diperoleh jumlah pelepasan tritium sebesar $4,63 \times 10^{11}$ Bq selama satu bulan.

ABSTRACT

CALCULATION OF TRITIUM RELEASE FROM REACTOR'S STACK. Method for calculation of tritium release from nuclear reactor to environment has been discussed. Part of gas effluent contain tritium in form of HTO vapor released from reactor's stack was sampled using silica-gel. The silica-gel was put in the water to widrow HTO vapor absorbed by silica-gel. Tritium concentration in the water was measured by liquid scintillation counter of Aloka LSC-703. Tritium concentration in the gas effluent and total release of tritium from reactor's stack during certain interval time were calculated using simple mathematic formula. This method has examined for calculation of tritium release from JRR-3M's stack of JAERI, Japan. From the calculation it was obtained the value of tritium release as much as 4.63×10^{11} Bq during one month.

PENDAHULUAN

Dalam kondisi operasi normal, pengoperasian reaktor nuklir tidak akan memberikan efek radiologi baik terhadap lingkungan maupun masyarakat sekitar.⁽¹⁾ Namun untuk menjamin terpenuhinya standar keamanan tersebut, pemantauan terhadap pelepasan zat-zat radioaktif perlu dilakukan, termasuk dalam lingkup pemantauan disini adalah memperkirakan jumlah zat-zat radioaktif yang dilepaskan ke lingkungan pada saat pengoperasian reaktor nuklir.

Salah satu zat radioaktif yang mempunyai potensi tersebar ke lingkungan sekitar reaktor nuklir dan perlu dipantau secara terus-menerus adalah tritium. Tritium merupakan isotop pemancar beta murni dengan energi beta maksimum 0,0186 MeV atau energi beta rata-rata 0,0057 MeV dan berwaktu paroh 12,3 tahun.⁽²⁾ Potensi tritium sebagai sumber radiasi eksternal dapat diabaikan karena radiasi yang dipancarkannya hanyalah beta berenergi rendah.⁽³⁾ Namun potensinya sebagai sumber radiasi interna

tidak dapat diabaikan begitu saja. Tritium dapat masuk dan berperan sebagai sumber radiasi interna di dalam tubuh manusia melalui jalur pernafasan, air minum maupun makanan.^(3,4)

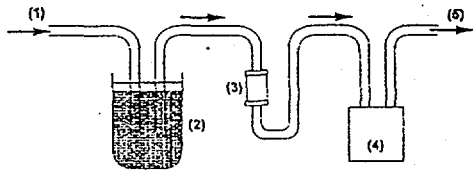
Pengoperasian reaktor nuklir dapat menimbulkan limbah radioaktif tritium (T atau H-3) dalam jumlah banyak.^(5,6) Limbah ini terbentuk melalui aktivasi neutron terhadap deuterium (D atau H-2) yang terdapat dalam air pendingin primer reaktor nuklir.⁽⁶⁾ Keberadaan tritium dalam air pendingin primer biasanya berbentuk molekul HTO, yaitu molekul air dimana salah satu atom H-nya diganti oleh T.^(6,7) Tritium mudah menyebar ke dalam udara melalui penguapan air pendingin, sehingga keberadaannya dalam udara berbentuk uap HTO.

Dalam makalah ini akan dibahas metoda untuk menghitung jumlah pelepasan tritium ke lingkungan pada saat pengoperasian reaktor nuklir berlangsung. Metoda yang digunakan adalah dengan cara menyedot sebagian udara yang keluar dari cerobong reaktor dan mengalirkannya melalui

tabung berisi silika-gel. Dibahas juga penurunan rumus matematis untuk mendapatkan berbagai besaran yang diperlukan dalam rangka pemantauan lingkungan untuk tritium.

DASAR TEORI

Jika udara yang mengandung uap HTO melalui bejana berisi silika-gel, maka HTO tersebut akan diserap oleh molekul-molekul silika-gel. Efisiensi penyerapan uap air oleh silika-gel biasanya mencapai 100 persen. Metoda penyerapan tritium oleh silika-gel ini adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 1.⁽⁸⁾



Gambar 1. Bagan peralatan untuk penyerapan tritium dengan silika-gel, (1): udara dari cerobong reaktor dihisap masuk, (2): bejana berisi silika-gel, (3): pengukur laju penyedotan udara, (4): pompa penyedot dan (5): udara keluar.

Untuk mengambil kembali uap HTO, silika-gel direndam ke dalam air yang volumenya dua kali lipat volume silika-gel.⁽⁸⁾ Kadar tritium dalam air perendam diukur dengan alat cacah pendar cair (LSC). Sedang metoda perhitungan kadar tritium dalam udara dan jumlah tritium yang terlepas ke lingkungan melalui cerobong reaktor beserta penurunan rumus matematisnya akan dibahas pada bagian tata kerja berikut ini. Dikemukakan juga hasil perhitungan pelepasan tritium dari cerobong salah satu reaktor penelitian di JAERI, Jepang (JRR-3M).

TATA KERJA

Peralatan dan Bahan

1. Bejana tempat silika-gel beserta pipa-pipa penghubung
2. Pengukur laju penyedotan udara

3. Pompa penyedot
4. Alat cacah pendar cair Aloka LSC-703 beserta vial untuk pencacahan
5. Silika-gel beserta air untuk perendaman

Penyerapan tritium dengan Silika-gel

Dilakukan penyerapan uap HTO yang terlepas melalui cerobong JRR-3M dengan peralatan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Bejana diisi silika-gel dengan berat 100 gram. Penyerapan dilakukan mulai tanggal 1 Juni 1992 jam 9.45 sampai dengan tanggal 1 Juli 1992 jam 9.45 dengan laju penyedotan udara 50 ml/menit.

Pengukuran Kadar Tritium Dalam Air Perendam.

Silika-gel yang telah dipakai untuk penyerapan uap HTO direndam ke dalam air dengan volume dua kali lipat volume silika-gel.⁽⁹⁾ Perendaman dilakukan selama 24 jam agar semua uap HTO terlarut dan bercampur dengan air. Pencacahan tritium dalam air dilakukan dengan cara memasukkan satu ml air perendam ke dalam vial dan ke dalamnya ditambahkan 10 ml larutan pemendar Aquasol-2. Vial dokocok hingga keduanya bercampur merata. Aktivitas tritium dalam air dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{N}{E} \quad (1)$$

dengan :

A_s = aktivitas tritium dalam sampel air (Bq)

N = cacahan bersih sampel (cacahan sampel yang sudah dikoreksi dengan cacahan latar) (cps)

E = efisiensi alat cacah LSC (cps/Bq)

Kadar tritium dalam sampel dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_s = \frac{A_s}{V_s} \quad (2)$$

dengan :

C_s = kadar tritium dalam sampel air (Bq/ml)

V_s = volume sampel air yang dicacah (ml)

Menghitung Kadar Tritium Dalam Effluen Udara

Aktivitas tritium yang terserap silika-gel selama sampling dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_s = \frac{C_s \cdot W}{P} \quad (3)$$

dengan :

A = Aktivitas total tritium selama sampling (Bq)

W = volume air untuk perendaman silika-gel (ml)

P = koefisien transduksi (biasanya berharga 0,94)⁽⁸⁾

Jika total waktu untuk sampling dan laju penyedotan udara diketahui, maka kadar tritium dalam efluen udara dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{A}{f \cdot t} \quad (4)$$

dengan :

C = kadar tritium dalam efluen udara (Bq/ml)

f = laju penyedotan udara (ml/s)

t = lama sampling (s)

Menghitung Jumlah Pelepasan Tritium Dari Cerobong

Laju pelepasan tritium dari cerobong reaktor tiap satuan waktu (detik) dapat dihitung jika pelepasan efluen udara melalui Cerobong diketahui. Perhitungannya dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$L(T) = C \cdot F \quad (5)$$

dengan :

L(T) = total pelepasan tritium tiap detik (Bq/s)

F = laju pelepasan efluen udara dari cerobong (ml/s)

Sedang total pelepasan tritium dari cerobong dalam jangka waktu tertentu dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A(T) = L(T) \cdot K \quad (6)$$

dengan :

A(T) = total pelepasan tritium (Bq)

K = jangka waktu pelepasan tritium (s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyerapan tritium dengan silika-gel dapat dilakukan dengan cara yang cukup sederhana.

Metoda penyerapan ini mampu memisahkan tritium dari zat-zat radioaktif lainnya yang terlarut dalam udara. Hal ini disebabkan silika-gel hanya menyerap tritium dalam bentuk HTO dan tidak menyerap zat radioaktif lainnya yang terlarut dalam efluen gas. Hasil pengukuran tritium dengan metoda ini lebih menguntungkan karena tidak terpengaruh oleh parameter lingkungan, terutama kelembaban dan temperatur.

Karena silika-gel hanya menyerap uap HTO, maka metoda penyerapan tritium dengan silika-gel cukup efektif untuk pengukuran tritium dalam udara yang didalamnya terlarut juga gas maupun partikel radioaktif lainnya. Namun ada satu hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan metoda ini, yaitu perubahan efisiensi penyerapan silika-gel terhadap uap air. Pada saat permulaan, efisiensi penyerapannya akan berkurang sehingga metoda ini tidak memberikan hasil pengukuran yang teliti jika digunakan untuk penyerapan tritium dalam waktu relatif lama. Untuk mengoreksi penurunan efisiensi penyerapan ini biasanya digunakan koefisien transduksi (P) yang harganya 0,94 seperti ditunjukkan pada persamaan (3).

Ketelitian hasil pengukuran tritium dengan metoda penyerapan oleh silika-gel ini hanya dipengaruhi oleh ketelitian alat cacah pendar cair (LSC) dalam mencacah sampel. Kondisi maupun peralatan untuk pengambilan sampel tidak berpengaruh terhadap ketelitian hasil pengukuran yang diperoleh. Namun untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih tepat, beberapa hal perlu diperhatikan selama sampling, misal : laju penyedotan udara dan laju pelepasan efluen dari cerobong reaktor harus stabil selama sampling.

Perkiraan jumlah pelepasan tritium ke lingkungan dari cerobong suatu reaktor nuklir dapat dilakukan dengan cara yang cukup sederhana. Pengambilan contoh udara dalam sampling juga dapat dilakukan dengan peralatan yang cukup sederhana. Namun metoda ini cukup dapat diandalkan untuk dipakai dalam kegiatan rutin pemantauan pelepasan tritium pada suatu instalasi nuklir, untuk memastikan bahwa standar keselamatan lingkungan dalam pengoperasian reaktor nuklir tetap terpenuhi.

Perhitungan secara bertahap jumlah pelepasan tritium dari cerobong reaktor dapat dilakukan menggunakan persamaan (1) sampai dengan (6) yang cukup sederhana. Namun dengan mensubstitusikan persamaan (5), (4), (3), (2) dan (1) secara berturut-turut ke persamaan (6) dapat diperoleh satu persamaan yang mengandung semua parameter yang diperlukan untuk perhitungan

pelepasan tritium dari cerobong. Dari substitusi tersebut, persamaan (6) dapat diubah menjadi :

$$A(T) = \frac{N \cdot W \cdot F \cdot K}{E \cdot V_s \cdot P \cdot f \cdot t} \quad (7)$$

Jika W, F, E, V_s, P, f dan t bernilai tetap pada setiap pengambilan sampel dan pencacahan, maka persamaan (7) dapat disederhanakan lagi menjadi :

$$A(T) = R \cdot N \cdot K \quad (8)$$

dengan :

$$R = \text{parameter sampling yang nilainya } \frac{W \cdot F}{(E \cdot V_s \cdot P \cdot f \cdot t)}$$

Persamaan (8) ini merumuskan jumlah pelepasan tritium dari cerobong reaktor selama jangka waktu K.

Hasil perhitungan secara bertahap jumlah pelepasan tritium dari cerobong JRR-3M disajikan pada Tabel 1. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa total pelepasan tritium selama satu bulan oleh JRR-3M adalah sebesar $4,63 \times 10^{11}$ Bq. Data ini sangat bermanfaat untuk mengkaji dampak radiologis pengoperasian reaktor nuklir terhadap lingkungan sekitar. Dengan memperhatikan kondisi geografis dan meteorologi setempat, data ini juga dapat dimanfaatkan untuk program pemantauan lingkungan, terutama pemantauan tritium.

KESIMPULAN

Penyerapan uap HTO menggunakan silika-gel dapat dilakukan dengan cara yang cukup sederhana. Metoda ini dapat dipakai untuk memperkirakan jumlah tritium dari reaktor nuklir. Dengan metoda sampling dan perhitungan yang sederhana dapat ditentukan total pengeluaran tritium melalui cerobong reaktor untuk jangka waktu tertentu. Metoda ini dapat dimanfaatkan untuk kegiatan rutin pemantauan pelepasan tritium dari reaktor nuklir ke lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada T. FURUTA, S. KINASE A. HIRANE dan S. SUZUKI atas kesempatan dan bantuan yang diberikan kepada penulis dalam melakukan percobaan ini di Research Reactor Area Monitoring-2, Department of Health Physics, Japan Atomic Energy Research Institute, Japan.

Tabel 1. Perhitungan Jumlah Pelepasan Tritium dari Cerobong JRR- 3M

PENGAMBILAN SAMPEL TRITIUM		
1	tanggal mulai pengambilan	1-06-1992 jam 9.45
2	tanggal selesai pengambilan	1-07-1992 jam 9.45
3	total waktu pengambilan sampel, t(s)	2592000
4	laju penyedotan udara, (ml/s)	0,83
5	berat silika-gel, m(gr)	100
6	laju pelepasan gas cerobong, F(ml/s)	$1,4 \times 10^{11}$
PENCACAHAN SAMPEL		
7	Volume air perendam, W(ml)	200
8	volume sampel yang dicacah, V _s (ml)	1,00
9	hasil cacahan sampel, N _s (cps)	43,2
10	hasil cacahan latar, N _b (cps)	20,8
11	cacahan bersih sampel, N(cps)	22,4
12	efisiensi alat cacah, E (cps/dps)	0,48
13	limit deteksi alat cacah 3 σ (cpm)	6,12
PERHITUNGAN PELEPASAN TRITIUM		
14	aktivitas sampel air, A _s (Bq)	46,67
15	kadar H-3 dalam sampel, C _s (Bq/ml)	46,67
16	aktivitas H-3 selama sampling, A (Bq)	9929,79
17	kadar H-3 dalam efluen gas, C(Bq/ml)	$4,6 \times 10^{-3}$
18	pelepasan H-3 tiap detik, L(T)(Bq/s)	$6,44 \times 10^8$
19	pelepasan H-3 dlm sebulan, A(T)(Bq)	$4,63 \times 10^{11}$

DAFTAR PUSTAKA

1. G.G. EICHHOLZ, "Environmental Aspects of Nuclear Power", An Arbor Science Publisher Inc., Mich 48106, 1977.
2. B.T. METACALFE, "Radiation Spectra of radionuclides", Moyes Data Corporation, London, 1976.
3. E.B.M. MARTIN, "Health Physics Aspect of the Use of tritium", Occupational Hygiene Monograph No. 6, 1982.
4. W.D. NORWOOD, "Health Protection of Radioactive Workers", Charles C. Thomas Publisher, Illinois, USA, 1975.
5. BNFL, "Annual Report on Radiation Discharges and Monitoring of the Environment", British Nuclear Fuel Limited, U.K., 1977.

6. J.S. TANG, H.J. SALING, "Radioactive Waste management", Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1990.
7. S. GLASSTONE, W.H. YORDAN, "Nuclear Power Its Environmental Effects", American Nuclear Society, Illinois, 1981.
8. JAERI, "Radiation Control for Working Environment of Facilities", Japan Atomic Energy Research Institute, Radiation Control Division II, 1992.
9. J.J. FITZGERALD, "Applied Radiation Protection and Control (Volume 1)", Gordon and Breach Science Publisher, London, 1969.

TANYA-JAWAB

Endro Kismolo

Apakah rumus-rumus yang ada ini dapat diterapkan pada berbagai kondisi lingkungan yang kelembaban udaranya berbeda-beda.

Mukhlis Akhadi

Pengaruh dari perubahan udara sangat kecil terhadap udara, jika perubahan tersebut tak sangat ekstrim. Oleh sebab itu, metoda ini dapat diterapkan pada berbagai kondisi lingkungan yang kelembaban udaranya berbeda-beda.

Purwanto

1. *Apakah alat pengukur laju penyedotan udara dikalibrasi ?*
2. *Bagaimana cara dan dimana melakukan kalibrasinya ?*

Mukhlis Akhadi

1. Setahu saya alat ini terkalibrasi, tapi saya tak bisa merunut lebih lanjut, mengingat sertifikat tersebut dalam bahasa Jepang.
2. Saya tak tahu, alat tersebut milik JAERI Jepang, yang tentunya kalibrasi ini bisa dilakukan pada bagian metrologi. Untuk Indonesia barangkali bisa dilakukan di KIM-LIPI.

Sukosrono

1. *Mohon dijelaskan sifat-sifat tritium baik fisik maupun kimia.*
2. *Mohon dapat dijelaskan dampak H-3 bila masuk dalam tubuh manusia.*

Mukhlis Akhadi

1. Sifat-sifat fisik: sama dengan fisik Hidrogen, bedanya T memancarkan radiasi, sedang H stabil/tak memancarkan radiasi. Sifat-sifat kimia: sama dengan unsur kimia hidrogen.
2. Dampak H-3 bagi tubuh: akan berperan sebagai sumber radiasi interna dengan organ kritis seluruh tubuh, mengingat H-3 dalam bentuk HTO dapat tersebar ke seluruh tubuh.

Suryantoro

Telah dijelaskan bahwa sampling Tritium tidak dipengaruhi oleh perbedaan temperatur. Tetapi jika kita lihat bahwa udara sangat dipengaruhi oleh temperatur, sehingga massa udara akan berubah dengan temperatur berbeda, meski volume sama. Apakah hal ini tidak berpengaruh pada hasil cacah N. Setahu saya jika temperature lebih rendah udara juga semakin banyak.

Mukhlis Akhadi

Saudara betul. Tapi dalam hal ini perubahan temperatur itu pengaruhnya sangat kecil terhadap nilai udara. Dalam sampling, perubahan yang sangat kecil tersebut dapat diabaikan.

Herlan Martono

Untuk menghitung jumlah pelepasan tritium dari cerobong reaktor, apakah efisiensi penyerapan dengan silika-gel dan pelepasan dari silika gel ke air diperhitungkan, sehingga tritium yang dicacah mewakili jumlah tritium dari cerobong reaktor.

Mukhlis Akhadi :

Dalam hal ini, perendaman tritium selama 24 jam mampu mengeluarkan semua uap HTO yang diserap silika-gel, sehingga hasil pencacahan air perendaman dapat dipakai untuk perhitungan jumlah pelepasan tritium dari cerobong.