

PENGUKURAN KADAR RADIOAKTIF GAS MULIA DALAM UDARA DENGAN ALAT UKUR KAMAR PENGIONAN

Mukhlis Akhadi

Pusat Standarisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGUKURAN KADAR RADIOAKTIF GAS MULIA DALAM UDARA DENGAN ALAT UKUR KAMAR PENGIONAN. Telah diteliti penggunaan alat ukur kamar pengionan untuk mengukur kadar radioaktif gas mulia dalam udara. Sistem alat ukur dilengkapi dengan VRE yang mampu mengukur arus listrik dalam orde femto Ampere. Udara yang mengandung gas mulia radioaktif dimasukkan ke dalam kamar pengionan hampa udara. Radiasi beta yang dipancarkan oleh gas radioaktif akan mengionkan udara yang ada dalam kamar pengionan sehingga timbul arus listrik yang besarnya dapat diukur melalui VRE. Hasil uji coba pengukuran kadar Ar-41 dalam udara menunjukkan bahwa alat ini mempunyai kepekaan sebesar 0,006 Bq/ml/mv. Angka tersebut menunjukkan bahwa kamar pengionan mampu mengukur kadar gas mulia dalam tingkat mili Becquerel atau 100 kali lebih rendah dibandingkan dengan DAC Ar-41 yang nilainya 0,1 Bq/ml.

ABSTRACT

MEASUREMENT OF RADIOACTIVE CONCENTRATION OF NOBLE GASES IN AIR USING IONIZATION CHAMBER DETECTOR. Utilization of ionization chamber detector for measurement of radioactive concentration of noble gases in air has been examined. The detector system is equipped by VRE which is able to measure electrical current in scale of femto Ampere. Air containing radioactive noble gases is inserted to the vacuum ionization chamber. Beta radiation emitted by radioactive gases will ionize the air in the ionization chamber. Electrical current occur and its value can be measured through VRE. Measurement of Ar-41 concentration in air shows that sensitivity of the instrument is 0.006 Bq/ml/mv. Such value indicates that the ionization chamber is able to measure noble gas concentration in the scale of mili Becquerel or 100 times lower than its DAC value of Ar-41 of 0.1 Bq/ml.

PENDAHULUAN

Salah satu jenis limbah radioaktif yang timbul dalam jumlah banyak pada pengoperasian reaktor nuklir adalah limbah gas, terutama isotop iodium, tritium dan gas mulia [1,2]. Limbah ini bersifat mudah menyebar di dalam udara sehingga udara di dalam gedung sekitar reaktor nuklir perlu dipantau secara khusus.

Ada berbagai metode yang dapat digunakan untuk memantau gas-gas radioaktif di dalam udara [3,4,5]. Salah satu metode yang saat ini banyak digunakan adalah pengambilan cuplikan udara dengan pompa penghisap yang dialirkan melalui kertas filter atau arang aktif atau gabungan keduanya [3,5,6]. Metode ini cukup efektif untuk mengikat partikel maupun gas-gas radioaktif di dalam udara seperti ^{131}I , ^{32}S dan ^{203}Hg [3,4]. Kertas filter atau arang aktif selanjutnya dicacah untuk mengetahui aktivitas radioaktif di dalam udara. Namun metode ini ternyata kurang efektif untuk mengikat gas mulia [3,6] karena efisiensi pengikatan gas

mulia oleh filter maupun arang aktif sangat rendah.

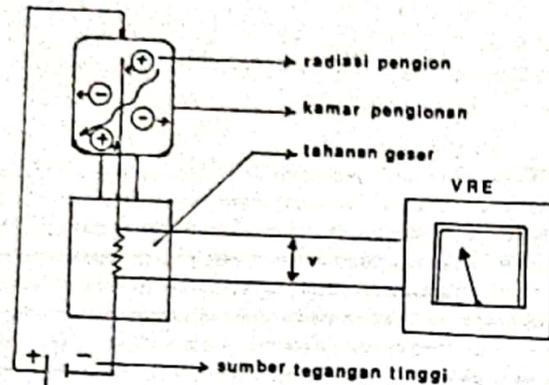
Metode baru untuk mengukur kadar gas mulia radioaktif di dalam udara adalah dengan alat ukur kamar pengionan [3]. Kamar pengionan sebenarnya sudah sejak lama dimanfaatkan dalam pengukuran radiasi. Namun penggunaannya dalam pemantauan gas radioaktif baru dikembangkan akhir-akhir ini

DASAR TEORI

Kamar pengionan bekerja memanfaatkan hasil pengionan gas oleh radiasi pengion. Ion positif yang terbentuk akan tertarik ke arah katode, sedang ion negatif tertarik ke arah anode. Penarikan ion yang berlawanan muatannya itu mengakibatkan turunnya tegangan listrik antara anode dan katode yang disertai dengan timbulnya aliran arus listrik [4,7,8]. Kuat arus listrik sebanding dengan jumlah pengionan yang terjadi dan ini berarti sebanding pula

dengan jumlah radiasi yang mengionkan gas di dalam kamar pengionan.

Metode pengukuran kadar gas mulia radioaktif dalam udara dengan alat ukur kamar pengionan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengukuran kadar radioaktif gas mulia dengan alat ukur kamar pengionan.

Udara yang mengandung gas mulia dihisap masuk ke dalam kamar pengionan sehingga radiasi yang dipancarkannya mengionkan molekul udara yang ada dalam kamar pengionan tersebut. Kadar gas mulia di dalam udara dihitung dengan persamaan berikut :

$$C = \frac{W.I.K}{1,6 \times 10^{-19} \cdot \epsilon \cdot E \times (10^6) \cdot V} \quad (1)$$

C = kadar gas mulia dalam udara (Bq/ml); W = energi rata-rata yang diperlukan untuk membentuk sepasang ion (eV), (34 eV untuk membentuk sepasang ion oleh radiasi beta); I = kuat arus listrik yang terbaca oleh alat ukur (A); E = energi rata-rata radiasi beta (MeV) ϵ = efisiensi pengionan udara oleh radiasi beta; V = volum kamar pengionan (1500 ml); K = faktor kalibrasi alat ukur tegangan atau arus.

Khusus untuk gas mulia, efisiensi pengionan (ϵ) berbanding terbalik dengan energi radiasi pengion (E). Nilai perkalian antara ϵ dan E tetap, yang besarnya $2,4 \times 10^{-2}$ ($\epsilon \cdot E = 2,4 \times 10^{-2}$) [4,8]. Dengan memasukkan nilai W, ϵ , E dan V ke persamaan (1) maka diperoleh :

$$C = 5,9 \times 10^{12} \cdot I \cdot K \quad (2)$$

Makalah ini membahas cara penggunaan alat ukur kamar pengionan untuk mengukur kadar gas mulia radioaktif di dalam udara. Pembahasannya meliputi faktor koreksi yang diperlukan dalam perhitungan serta kelebihan metode ini dibandingkan dengan metode lain yang sudah ada. Dikemukakan pula hasil uji coba

pengukuran kadar Ar-41 dalam udara di permukaan kolam reaktor JRR-3M serta pembahasannya.

BAHAN DAN PERALATAN

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah kamar pengionan standar tipe 04050-405, sumber standar Sr-90 dengan aktivitas 7 μ Ci, vibrating Reed Electrometer (VRE) tipe TR-84M, tahanan geser yang berisi tahanan 1×10^8 , 1×10^{10} , dan 1×10^{12} , sumber tegangan tinggi dan kamar pengionan volum 1500 ml

TATA KERJA

Kalibrasi VRE

Fungsi VRE ialah untuk mengukur beda tegangan listrik antara katode dan anode pada kamar pengionan standar yang di dalamnya diisi sumber standar Sr-90 dengan aktivitas 7 μ Ci. Sumber standar ini mampu memberikan masukan arus listrik standar (I_s) sebesar $1,00 \times 10^{-13}$ Ampere ke dalam VRE. Arus yang terbaca oleh VRE (I) dapat dihitung dengan persamaan:

$$I = v/R \quad (3)$$

v = beda tegangan listrik yang terbaca oleh VRE; R = besar tahanan yang digunakan (biasanya dipakai 1×10^{12} Ohm).

Faktor kalibrasi VRE (K) didefinisikan sebagai perbandingan antara arus standar yang masuk (I_s) dengan arus yang terbaca (I), atau secara matematis dirumuskan sebagai:

$$K = I_s/I \quad (4)$$

Pengukuran tegangan latar

Tegangan latar (v_b) adalah beda tegangan antara katode dan anode dalam kamar pengionan tanpa adanya radiasi pengion. Pengukuran tegangan latar dilakukan dengan cara mengukur tegangan dalam keadaan kamar pengionan terisi udara bersih (bebas kontaminasi). Pengukuran ini dimaksudkan sebagai koreksi tegangan jika kamar pengionan dipakai dalam pengukuran radiasi. Koreksinya dilakukan dengan cara mengurangi hasil bacaan tegangan kamar pengionan pada saat pengukuran dengan hasil bacaan tegangan latar sehingga diperoleh tegangan bersih dari cuplikan yang dicacah.

Pengukuran kadar gas mulia dalam udara

Alat ukur kamar pengionan diuji coba penggunaannya untuk mengukur kadar gas mulia Ar-41 dalam udara di permukaan kolam reaktor

nuklir JRR-3M. Udara dalam kamar pengionan dikosongkan dengan pompa hampa. Kamar pengionan hampa udara selanjutnya diisi udara yang mengandung gas mulia Ar-41 diukur tegangannya dengan VRE dengan tahanan terpasang 1×10^{12} Ohm. Hasil bacaan tegangan kamar pengionan yang berisi cuplikan (V_0) dikoreksi dengan tegangan latar sehingga diperoleh tegangan bersih dari cuplikan ($v = v_0 - v_b$). Arus yang timbul akibat pengionan udara oleh Ar-41 dihitung dengan persamaan (3) dan kadar gas Ar-41 dalam udara dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

Menghitung kepekaan VRE

Kepekaan VRE didefinisikan sebagai kemampuan VRE dalam membaca masukan yang diberikan oleh kamar pengionan. Kamar pengionan memberi masukan dalam bentuk arus listrik, sedang VRE menghasilkan bacaan dalam bentuk tegangan listrik. Karena arus listrik yang diberikan oleh kamar pengionan berasal dari pengionan udara oleh radiasi yang dipancarkan sejumlah zat radioaktif dalam kamar pengionan, kepekaan VRE bisa juga didefinisikan sebagai perbandingan antara konsentrasi gas radioaktif yang diukur (C) dengan tegangan yang terbaca VRE(v), atau secara matematis dirumuskan :

$$S = C/v \quad (\text{Bq/ml/mv}) \quad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari persamaan (2) terlihat bahwa metode pengukuran kadar gas mulia radioaktif dengan kamar pengionan ini cukup sederhana. Faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran hanyalah kestabilan faktor kalibrasi (K) dan kepekaan baca alat VRE dalam membaca arus listrik [1]. Kesalahan pengukuran akibat ketidakstabilan alat baca bisa dihindari dengan mengkalibrasi terlebih dahulu alat baca yang digunakan. Pada Tabel 1 terlihat bahwa alat baca yang digunakan cukup stabil dengan rata-rata faktor kalibrasinya 0,93.

Kemampuan alat baca VRE saat ini telah bisa diusahakan untuk membaca arus listrik dalam tingkat femto Ampere (10^{-15} A), sehingga pengukuran dengan kamar pengionan bisa dilakukan dengan sangat teliti.

Efek kebergantungan alat ukur terhadap energi radiasi seringkali merupakan masalah tersendiri dalam pengukuran zat radioaktif. Dari persamaan (2) terlihat bahwa hasil pengukuran dengan kamar pengionan tidak bergantung pada energi beta yang dipancarkan sumber.

Tabel 1. Faktor kalibrasi VRE dalam pembacaan arus pada tahanan $R = 1 \times 10^{12}$ Ohm

$I_s \times 10^{-13}$ (A)	$I \times 10^{-13}$ (A)	Faktor kalibrasi
1,00	1,075	0,93
1,00	1,076	0,93
1,00	1,087	0,92
1,00	1,075	0,93
1,00	1,086	0,93
Rata - rata		0,93

Oleh sebab itu metode ini bisa dipakai untuk pengukuran semua jenis radioaktif gas mulia pemancar beta dalam udara tanpa perlu adanya koreksi kepekaan alat ukur terhadap energi β yang dipancarkan sumber. Dengan demikian metode ini juga sangat efektif untuk mengukur kadar radioaktif gas mulia dalam udara yang terdiri dari berbagai jenis campuran gas dengan berbagai energi β .

Dilihat dari sedikitnya faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pengukuran, hasil pengukuran dengan kamar pengionan akan jauh lebih teliti dibandingkan dengan metode pengambilan dan pencacahan cuplikan udara melalui kertas filter maupun arang aktif. Banyak faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran dengan metode pencacahan cuplikan udara melalui filter maupun arang aktif, antara lain : efisiensi pengikatan radioaktif oleh filter, laju penyedotan udara, lama penyedotan, kepekaan alat cacah dan faktor keberuntungan kepekaan alat cacah terhadap energi radiasi dari radionuklida yang dicacah.

Faktor-faktor dari luar yang mempengaruhi hasil pengukuran cuplikan dengan kamar pengionan hampir tidak ada. Cuplikan udara yang diukur dimasukkan dan berinteraksi langsung dengan sistim alat ukur. Karena kamar pengionan ini hanya mengukur hasil pengionan udara oleh radiasi beta, sumbangan hasil pengionan beta yang datang dari luar sistim alat ukur tidak ada sama sekali. Hal ini dimungkinkan karena radiasi beta dari latar tidak akan mampu menembus masuk ke dinding kamar pengionan. Satu-satunya radiasi latar yang mampu menembus dinding kamar pengionan ialah radiasi γ . Namun pengaruh radiasi γ terhadap hasil pengukuran total sudah terkoreksi dengan cara pengukuran tegangan latar, hasil tegangan latar dipakai langsung untuk mengurangi hasil

bacaan dari tegangan cuplikan. Di samping itu, karena efisiensi pengionan udara oleh radiasi γ sangat rendah, maka nilai koreksi dari radiasi latarpun sangat rendah.

Pengukuran kadar radioaktif dalam udara dilakukan dengan cara memasukkan cuplikan udara ke dalam kamar pengionan yang sebelumnya dihampakan, sehingga kondisi pengukuran akan sama dengan kondisi tempat yang diukur. Dengan demikian maka konsentrasi radioaktif yang terukur sama dengan konsentrasi yang sebenarnya pada saat pengambilan cuplikan di tempat yang diukur.

Data uji coba pengukuran kadar gas mulia Ar-41 dalam udara dengan kamar pengionan disajikan pada Tabel 2.

Dari data pengukuran terlihat bahwa alat Tabel 2. Hasil pengukuran kadar Ar-41 dalam udara (tahanan pada saat pengukuran 1×10^{12} Ohm).

Tegangan (mv)	$I \times 10^{-13}$ (A)	C (Bq/ml)	S (Bq/ml/mv)
705	0,70	3,90	0,006
705	0,70	3,90	0,006
881	0,88	4,88	0,006
885	0,89	4,90	0,006
900	0,90	4,98	0,006
905	0,91	5,01	0,006
Rata - rata			0,006

ini mampu mengukur kadar radioaktif dalam tingkat Bq. Pada Tabel 2 juga dicantumkan data hasil perhitungan kepekaan VRE (S) yang besarnya 0,006 Bq/ml/mv. Angka ini berarti bahwa jika alat baca VRE mampu membaca tegangan terendah pada tingkat 1 mV, maka kadar gas mulia terendah yang masih terukur oleh kamar

ionisasi adalah 0,006 Bq atau bertingkat mBq. Hal ini berarti pula bahwa perbedaan kadar gas mulia dalam tingkat mBq masih dapat diukur oleh kamar pengionan. Jika dibandingkan dengan nilai kadar turunan dalam udara (DAC) untuk Ar-41 yang nilainya 0,1 Bq/ml, maka sistem alat ukur kamar pengionan mampu mengukur kadar gas mulia yang nilainya bertingkat 100 kali lebih rendah dibandingkan DAC-nya.

KESIMPULAN

Kamar pengionan sangat efektif untuk mengukur kadar radioaktif gas mulia dalam udara. Faktor yang sangat menguntungkan dari penggunaan alat ini adalah tidak adanya ketergantungan alat ukur terhadap energi beta yang dipancarkan sumber dan pengukurannya bisa dilakukan pada kondisi yang sama dengan kondisi tempat yang diukur.

Faktor terpenting yang sangat mempengaruhi ketelitian hasil pengukuran adalah dalam pengukuran arus listrik yang timbul akibat pengionan udara oleh radiasi di dalam kamar pengionan. Namun saat ini telah berhasil dikembangkan alat ukur arus dalam tingkat femto Ampere, sehingga sangat mungkin dilakukan pengukuran kadar radioaktif dalam tingkat mili Becquerel. Hasil uji coba menunjukkan bahwa metode ini dapat dipakai untuk mengukur gas mulia yang kadarnya 100 kali lebih rendah dibandingkan nilai DAC-nya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada T. FURUTA, T. MIYAMOTO, H. UEDA dan T. KIKUCHI atas kesempatan dan bantuan yang diberikan selama melakukan penelitian ini di Radiation Control Division II, Department of Health Physics, JAERI, Japan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Tang, J.S. and Saling, H.J., Radioactive Waste Management, Hemisphere Publishing Corporation, New York (1990).
2. BNFL, Annual report on radioactive dischargers and monitoring of the environment, British Nuclear Fuel Limited, U.K (1977).
3. JAERI, Radiation control for the working environment of facilities, Japan Atomic Energy Research Institute, Radiation Control Division II (1989)
4. Tsoulfanidis, Nicholas, Measurement and Detection of Radiation, Hemisphere Publishing Corporation, London (1983)
5. Fitzgerald, J.J., Applied radiation protection and control, Vol. I, Gordon and Hall, London (1977)

6. Martin, Alan, Harbinson, and Samuel, A., An introduction to radiation protection, Chapman and Hall, London (1979).
7. Price, J. William, Nuclear radiation detection, McGraw-Hill Book Company, London (1964)
8. Miller, G. Budley, Radioactivity and radiation protection, Gordon and Breach Science Publisher, London (1972)