

Penentuan Konsentrasi Radionuklida (^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po dan ^{40}K) pada Tembakau Rokok yang Beredar di Kota Padang Menggunakan Spektrometer Gamma dan RAD7

Rizka Mutik Siyami¹, Dian Milvita^{1,*}, Kusdiana²

¹Laboratorium Fisika Nuklir, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Laboratorium Lingkungan PTKMR BATAN, Pasar Jum'at, Lebak Bulus, Jakarta Selatan

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 1 Juli 2021
 Direvisi: 27 Juli 2021
 Diterima: 15 September 2021

Kata kunci:

dosis efektif
 konsentrasi radionuklida
 RAD7
 spektrometer gamma
 tembakau rokok

Keywords:

Effective dose
 Radionuclide concentration
 RAD7
 Gamma spectrometer
 Cigarette tobacco

Penulis Korespondensi:

Dian Milvita
 Email:
dianmilvita74@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran konsentrasi radionuklida (^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po dan ^{40}K) pada tembakau rokok di Kota Padang menggunakan spektrometer gamma dan RAD7. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi radionuklida pada tembakau rokok dan mengestimasi dosis efektif tahunan yang diterima perokok. Pengukuran konsentrasi radionuklida dilakukan pada tiga merek tembakau rokok, diawali dengan preparasi sampel, kalibrasi spektrometer gamma dan RAD7, serta pengukuran konsentrasi radionuklida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi ^{226}Ra terukur pada semua sampel dengan nilai tertinggi ialah $(2,29 \pm 0,56)$ Bq/kg. Konsentrasi ^{210}Po terukur pada semua sampel dengan nilai tertinggi yaitu 1,61 Bq/kg. Konsentrasi ^{40}K terukur di semua sampel tembakau rokok dengan nilai tertinggi ialah $(1.069,05 \pm 101,97)$ Bq/kg. Konsentrasi radionuklida ^{210}Pb tidak terukur pada semua sampel. Estimasi dosis efektif tahunan yang diterima perokok paling tinggi berasal dari radionuklida ^{226}Ra yaitu 36,1 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$, sedangkan estimasi dosis efektif tahunan total dari seluruh radionuklida ialah 88,5 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Nilai konsentrasi radionuklida yang terukur melebihi batas konsentrasi radionuklida oleh IAEA TE 1788, sedangkan nilai estimasi dosis efektif tahunan yang didapatkan tidak melebihi batas dosis yang ditetapkan UNSCEAR 2010.

The concentration of radionuclides (^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po dan ^{40}K) on cigarette tobacco in Kota Padang has been measured using a gamma spectrometer and RAD7. This study aims to determine the radionuclide concentration on cigarette tobacco and estimate the annual effective dose received by smokers. Measurement of radionuclide concentrations was done on three cigarette tobacco brands. It began with sample preparation, calibration of the gamma spectrometer and RAD7, and measurement of radionuclide concentrations. The results showed that the concentration of ^{226}Ra was detected in all samples, with the highest value being (2.29 ± 0.56) Bq/kg. The concentration of ^{210}Po was detected in all samples, with the highest value being 1.61 Bq/kg. The concentration of ^{40}K was detected in all samples, with the highest value being $(1,069.05 \pm 101.97)$ Bq/kg. The concentration of ^{210}Pb was not detected in all samples. The highest estimated annual effective dose received by smokers was derived from the radionuclide ^{226}Ra , which was 36.1 $\mu\text{Sv}/\text{year}$, while the estimated total annual effective dose of all radionuclide was 88.5 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. The radionuclide concentration measured exceeded limits by IAEA TE 1788, while the estimated annual effective dose values obtained did not exceed the dose limits set by UNSCEAR 2010.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Manusia secara terus menerus akan menerima paparan radiasi ionisasi yang selalu ada di alam. Radiasi ini berasal dari sumber yang terjadi secara alami seperti radium (Ra) pada air, kalium (K) pada jaringan hidup, dan unsur-unsur radioaktif lainnya yang terdapat pada batuan (Turner, 2008). Zat radioaktif yang terkandung di dalam air maupun batuan secara tidak langsung dapat mengontaminasi tanaman yang tumbuh di sekitarnya. Tanaman tembakau merupakan bahan baku pembuatan rokok, yang mana jumlah konsumsi rokok oleh manusia cukup tinggi. Berdasarkan data RISKESDAS (2018) jumlah perokok di atas 15 tahun mencapai 33,8 % dan untuk usia 10-18 tahun meningkat menjadi 9,1 % di tahun 2018, dan akan terus meningkat hingga saat ini.

Rokok mengandung lebih dari 100 zat karsinogen. Selain mengandung zat-zat kimia berbahaya, tembakau yang merupakan bahan baku rokok juga mengandung zat radioaktif alam yang dapat terionisasi yang tidak kalah berbahaya bagi manusia (Hockings, 2001). Ketika seseorang menghirup asap rokok, maka secara langsung maupun tak langsung zat-zat yang berbahaya akan ikut masuk ke dalam paru-paru bahkan terbawa oleh air liur dan masuk ke sistem pencernaan. Akibatnya zat-zat berbahaya tersebut akan merusak sistem pernapasan dan pencernaan manusia yang akan menimbulkan berbagai macam penyakit seperti kanker paru-paru, bronkitis kronis, gangguan usus dan lambung serta masih banyak penyakit lainnya (Borgerding and Klus, 2005).

Papastefanou (2007, 2009) telah melakukan penelitian tentang kandungan radionuklida alam ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , dan ^{40}K dari beberapa merek rokok yang diproduksi di Yunani menggunakan spektrometer gamma. Dari hasil pengukuran didapatkan rata-rata konsentrasi ^{226}Ra , ^{210}Pb , dan ^{40}K secara berturut-turut ialah 3,38 Bq/Kg, 14,12 Bq/Kg, dan 822,76 Bq/Kg. Afif dkk. (2014) telah melakukan pengukuran radioaktivitas ^{210}Pb , dan ^{40}K pada daun tembakau dari 14 merek rokok serta mengestimasi nilai dosis yang diterima perokok menggunakan spektrometer gamma. Dari hasil pengukuran didapatkan konsentrasi ^{210}Pb rata-rata $3,968 \pm 1,042$ Bq/kg dan konsentrasi ^{40}K rata-rata $11,75 \pm 1,782$ Bq/kg serta rata-rata dosis efektif $29,42 \pm 7,772$ $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Sukmabuana (2016) telah melakukan penelitian tentang kandungan ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po dan ^{40}K pada tembakau dari beberapa merek rokok yang dipasarkan di Bandung Jawa Barat menggunakan spektrometer gamma. Konsentrasi radionuklida tertinggi yang terukur pada tembakau rokok ialah ^{40}K dengan konsentrasi 26,50 Bq/kg.

Beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa struktur geografis suatu daerah berpengaruh pada konsentrasi radionuklida di daerah tersebut. Sumatera Barat merupakan salah satu daerah dengan anomali radionuklida yang cukup tinggi (Ngadenin, 2013). Sumatera Barat juga merupakan provinsi yang menempati urutan kedua sebagai provinsi dengan konsumsi rokok terbanyak tahun 2020 (IAKMI, 2020). Masyarakat dapat menemukan berbagai jenis rokok di Kota Padang sebagai ibukotanya mulai dari merek terkenal dengan harga mahal, sampai dengan merek biasa yang cukup terjangkau. Rokok-rokok tersebut dapat berasal dari pabrik yang ada di Sumatera maupun di luar Sumatera. Selain rokok-rokok tersebut, tidak sedikit masyarakat yang mengkonsumsi rokok dengan cara manual yaitu hanya membeli tembakau terpisah. Tembakau tersebut dapat berasal dari daerah di Sumatera Barat seperti Payakumbuh maupun di luar Sumatera Barat.

Tujuan dari penelitian ini ialah menentukan konsentrasi ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po dan ^{40}K yang terkandung di dalam tembakau rokok di Kota Padang dan mengestimasi dosis efektif tahunan. Nilai estimasi dosis efektif tahunan dari radionuklida akan ditentukan guna mengetahui dosis yang diterima perokok pertahunnya. Penelitian ini menggunakan alat spektrometer gamma dan RAD7 karena akurasi dalam mendeteksi pancaran radiasi. Standar yang digunakan untuk konsentrasi radionuklida adalah IAEA TE 1788 dan untuk dosis efektif tahunan adalah UNSCEAR Tahun 2010.

II. METODE

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan September 2020 sampai bulan April 2021. Sampel penelitian dibeli dari Pasar Raya dan Pasar Siteba Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. Preparasi dan pencacahan sampel penelitian dilakukan di Laboratorium lingkungan Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKMR-BATAN), Pasar Jumat, Jakarta Selatan.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya oven, blender, *marinelli*, timbangan, spektrometer gamma, dan RAD7. Bahan yang digunakan yaitu 3 sampel tembakau (M1, M2, dan M3) yang dipasarkan di Kota Padang dan sumber standar gamma campuran. Sampel M1 merupakan tembakau rokok (non pabrikan) yang ditanam di Payakumbuh Sumatera Barat, sedangkan sampel M2 dan M3 merupakan sampel tembakau rokok kretek (pabrikan) yang ditanam di Jawa Barat.

2.3 Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu preparasi sampel, kalibrasi spektrometer gamma dan RAD7, pengukuran konsentrasi radionuklida sampel, pengolahan data, serta analisis data.

2.3.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel dimulai dengan mengambil 1 Kg tembakau untuk masing-masing sampel. Sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80°C selama kurang lebih 24 jam. Setelah sampel mengering, sampel diblender dan dimasukkan ke dalam *marinelli* dan tabung RAD7. Setelah itu sampel ditimbang berat totalnya dan diisolasi. Kemudian sampel disimpan selama kurang lebih 1 bulan sebelum dilakukan pencacahan.

2.3.2 Kalibrasi Spektrometer Gamma dan RAD7

Kalibrasi dilakukan menggunakan sumber standar gamma campuran. Sebelumnya terlebih dahulu diukur radiasi latar selama 17 jam. Kemudian sumber standar diukur selama 17 jam pula. Hasil cacahan tersebut digunakan untuk kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi dilakukan untuk menentukan hubungan antara energi yang dihasilkan radionuklida sumber standar gamma dengan nomor salur. Kalibrasi efisiensi dilakukan dengan menentukan nilai efisiensi deteksi menggunakan Persamaan (1) (BATAN, 2020).

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{N_s - N_{bg}}{A_t P_{\gamma}} \quad (1)$$

ε_{γ} adalah efisiensi detektor (%), N_s adalah laju cacah sampel (cps), N_{bg} adalah laju cacah latar (cps), A_t adalah aktivitas radionuklida (Bq/kg), dan P_{γ} adalah kelimpahan energi gamma (%).

Kalibrasi pada RAD7 bertujuan untuk menentukan mode pengukuran yang digunakan. RAD7 dikalibrasi agar dapat melakukan pengukuran radon. RAD7 harus diatur pada sniff mode sehingga dapat digunakan untuk mengukur radionuklida ^{210}Po yang merupakan anak luruh dari radon.

2.3.3 Pengukuran Konsentrasi Radionuklida

Konsentrasi radionuklida ^{226}Ra , ^{210}Pb , dan ^{40}K diukur dengan menggunakan spektrometer gamma. Pengukuran konsentrasi radionuklida diawali dengan pengukuran radiasi latar dengan cara mencacah *marinelli* berisi 1 liter air selama 17 jam. Setelah itu dilakukan pengukuran sampel dengan cara mencacah sampel siap ukur selama 17 jam pula. Hasil cacah pengukuran sampel akan terlihat pada komputer sebagai spektrum energi gamma, kemudian dilakukan identifikasi radionuklida yang terbaca pada spektrum.

Konsentrasi radionuklida ^{210}Po diukur dengan menggunakan RAD7. Pengukuran dilakukan pada sampel menggunakan sniff mode selama 5 menit. Data hasil pengukuran dapat keluar melalui printer pada RAD7 dan dapat pula ditransfer ke *software* pada komputer.

2.3.4 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk menentukan konsentrasi ^{226}Ra , ^{210}Pb , dan ^{40}K pada sampel menggunakan persamaan (2), sedangkan konsentrasi ^{210}Po ditentukan menggunakan alat RAD7 dan tidak memerlukan pengolahan data. Estimasi dosis efektif ditentukan menggunakan Persamaan (3).

$$C_{avg} = \frac{N_{Sp}}{\varepsilon_{\gamma} P_{\gamma} W_{Sp}} \quad (2)$$

$$H_E = 0,75 M_T AF \quad (3)$$

C_{avg} adalah konsentrasi zat radioaktif dalam sampel rata-rata (Bq/kg), N_{sp} adalah laju cacah sampel terkoreksi (cps), W_{sp} adalah berat sampel (gram), C_{sp} adalah konsentrasi zat radioaktif dalam sampel terkoreksi (Bq/kg), H_E adalah dosis efektif yang diterima perokok (Sv), M_T adalah jumlah konsumsi tembakau tahunan (kg/tahun), A adalah konsentrasi radionuklida pada sampel (Bq/kg), dan F adalah faktor konversi dosis radiasi.

2.3.5 Analisis Data

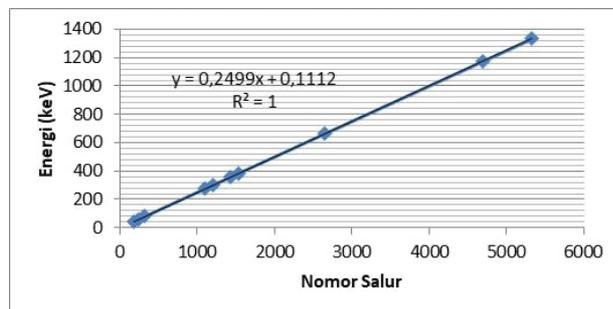
Analisis data dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran terhadap batas konsentrasi radionuklida yang diperbolehkan. Konsentrasi radionuklida yang diperbolehkan untuk tumbuhan konsumsi ditinjau berdasarkan IAEA TE 1788. IAEA TE 1788 memberi batasan untuk radionuklida ^{226}Ra , ^{210}Pb , dan ^{210}Po secara berturut-turut sebesar 0,05 Bq/kg, 0,08 Bq/kg, dan 0,1 Bq/kg. Nilai estimasi dosis efektif dibandingkan dengan batas dosis efektif tahunan secara inhalasi yaitu sebesar 1260 μSv /tahun menurut UNCEAR (2010).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kalibrasi Spektrometer Gamma

3.1.1 Kalibrasi Energi

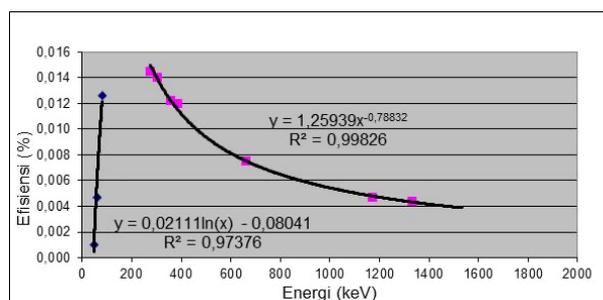
Hasil kalibrasi energi pada perangkat spektrometer gamma dapat dilihat pada Gambar 1. Kalibrasi energi menghasilkan grafik hubungan antara nomor salur dengan energi gamma yang linier. Nomor salur ialah nomor yang menunjukkan nilai rentan dari energi gamma. Hubungan linier antara nomor salur dan energi menunjukkan kesesuaian antara tinggi pulsa yang dihasilkan oleh detektor dan penguat dengan energi sinar gamma dari radionuklida yang mengenai detektor (Susetyo, 1988). Kalibrasi ini bertujuan untuk menentukan radionuklida yang tepat berdasarkan energi gamma yang dipancarkan.



Gambar 1 Grafik kalibrasi energi

3.1.2 Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi efisiensi akan menghasilkan grafik energi rendah (di bawah 100 keV) dan energi tinggi (di atas 100 keV) yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Grafik ini menunjukkan hubungan antara efisiensi detektor dengan energi gamma yang dipancarkan. Pada energi tinggi efisiensi detektor akan menurun secara eksponensial seiring meningkatnya energi. Hal itu dapat terjadi karena kemampuan sinar gamma berinteraksi dengan detektor akan mencapai nilai maksimum pada energi 100 keV, pada energi besar dari 100 keV efisiensi detektor akan menurun (Susetyo, 1988).



Gambar 2 Grafik kalibrasi efisiensi

3.2 Pengukuran Konsentrasi Radionuklida

3.2.1 Konsentrasi ^{226}Ra

Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{226}Ra pada sampel tembakau rokok di Kota Padang dan batas konsentrasi ^{226}Ra yang ditetapkan oleh IAEA TE 1788 dapat dilihat pada Tabel 1. Konsentrasi radionuklida ^{226}Ra terukur di semua sampel tembakau rokok. Konsentrasi ^{226}Ra yang terukur pada sampel tembakau melebihi batas konsentrasi yang diperbolehkan oleh IAEA TE 1788 yaitu 0,05 Bq/kg, oleh karenanya konsumsi tembakau rokok harus diwaspadai.

Tabel 1 Konsentrasi ^{226}Ra pada tembakau rokok

Sampel Tembakau	Konsentrasi ^{226}Ra (Bq/kg)		
	Hasil Penelitian	MDC	IAEA TE 1788
M1	1,07 ± 0,34		
M2	2,29 ± 0,56	0,10	0,05
M3	1,24 ± 0,42		

Tingginya nilai konsentrasi radionuklida ^{226}Ra pada sampel M2 disebabkan karena sampel tersebut merupakan sampel tembakau yang belum diolah di pabrik rokok. Sampel yang belum diolah memiliki kandungan tanah lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang telah diolah di pabrik, tingginya konsentrasi ^{226}Ra berasal dari kandungan tanah pada sampel (Papastefanou, 2007). Sampel M1 dan M3 memberikan nilai konsentrasi radionuklida ^{226}Ra yang hampir sama dan lebih rendah jika dibandingkan dengan sampel M2. Hal tersebut dapat terjadi karena sampel telah diproses dan disterilisasi di pabrik rokok, sehingga sampel tidak mengandung banyak tanah maupun batuan yang cenderung dominan mengandung radionuklida ^{226}Ra (Papastefanou, 2007).

3.2.2 Konsentrasi ^{210}Pb

Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{210}Pb pada sampel tembakau rokok di Kota Padang dan batas konsentrasi ^{210}Pb yang ditetapkan oleh IAEA TE 1788 dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi radionuklida ^{210}Pb tidak terukur di semua sampel tembakau rokok. Hal itu bukan berarti sampel-sampel tersebut tidak mengandung radionuklida ^{210}Pb , melainkan karena energi gamma dari radionuklida ^{210}Pb pada sampel tidak mencapai nilai MDC. Hal itu mengakibatkan alat spektrometer gamma tidak mampu mengukur nilai konsentrasi ^{210}Pb . Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa konsentrasi radionuklida ^{210}Pb pada tembakau rokok yang dipasarkan di kota padang lebih kecil dari batas konsentrasi yang diperbolehkan oleh IAEA TE 1788.

Tabel 2 Konsentrasi ^{210}Pb pada tembakau rokok

Sampel Tembakau	Konsentrasi ^{210}Pb (Bq/kg)		
	Hasil Penelitian	MDC	IAEA TE 1788
M1			
M2	Tidak terukur	2,51	0,08
M3			

Radionuklida ^{210}Pb merupakan anak luruh dari gas radon yaitu ^{222}Rn . Gas radon ^{222}Rn dapat berasal dari kerak bumi yang terlepas ke atmosfer (Rasito dkk., 2007). Penyerapan ^{210}Pb pada tanaman tembakau dapat berasal dari gas radon yang terdapat di atmosfer (Papastefanou, 2007). Gas radon ^{222}Rn akan meluruh menjadi ^{210}Pb dan kemudian tersimpan dalam daun tembakau. Kandungan ^{210}Pb pada tanaman tembakau juga dapat terjadi melalui penyerapan akar dari tanah tempat tembakau tumbuh.

3.2.3 Konsentrasi ^{210}Po

Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{210}Po pada sampel tembakau rokok di Kota Padang dan batas konsentrasi ^{210}Po yang ditetapkan oleh IAEA TE 1788 dapat dilihat pada Tabel 3. Perbedaan nilai konsentrasi yang didapatkan pada setiap sampel dapat terjadi karena perbedaan varietas tembakau yang digunakan, dapat pula terjadi karena prosedur pengolahan tiap pabrik yang berbeda-beda. Nilai konsentrasi radionuklida ^{210}Po yang didapatkan pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai maksimum yang diperbolehkan oleh IAEA TE 1788 yaitu 0,1 Bq/Kg. Adanya kandungan radionuklida ^{210}Po pada tanaman tembakau dapat disebabkan oleh endapan radionuklida pada daun tembakau secara langsung, sedangkan sumber utama radionuklida ^{210}Po ialah berasal dari tanah atau kerak bumi dan atmosfer. Penggunaan pupuk kalium polifosfat yang mengandung uranium juga dapat menyebabkan terpaparnya tembakau oleh radionuklida ^{210}Po , karena radionuklida tersebut merupakan anak luruh dari uranium (Singh and Nilekani, 1976).

Tabel 3 Konsentrasi ^{210}Po pada tembakau rokok

Sampel Tembakau	Konsentrasi ^{210}Po (Bq/kg)	
	Hasil Penelitian	IAEA TE 1788
M1	1,52	
M2	1,43	0,05
M3	1,61	

3.2.4 Konsentrasi ^{40}K

Hasil pengukuran konsentrasi radionuklida ^{40}K pada sampel tembakau rokok di Kota Padang dan batas konsentrasi ^{40}K yang ditetapkan oleh IAEA TE 1788 dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa konsentrasi radionuklida ^{40}K terukur di semua sampel tembakau rokok yang beredar di Kota Padang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi radionuklida ^{40}K yang terdapat pada sampel tembakau cukup tinggi. Hal itu dapat terjadi karena ^{40}K yang terkandung dalam tanah ikut terserap oleh akar tumbuhan tembakau. Selain berasal dari tanah sebagai medium tumbuhnya tembakau, ^{40}K juga dapat berasal dari pupuk yang digunakan pada budidaya tanaman tembakau. Menurut Papastefanau (2009), kandungan radionuklida ^{40}K pada pupuk fosfat rata-rata ialah 2,438 Bq/kg.

Tabel 4 Konsentrasi ^{40}K pada tembakau rokok

Sampel Tembakau	Konsentrasi ^{40}K (Bq/kg)		
	Hasil Penelitian	MDC	IAEA TE 1788
M1	973,65 ± 93,49		
M2	1069,05 ± 101,97	0,25	-
M3	690,03 ± 66,82		

3.3 Estimasi Dosis Efektif

Nilai estimasi dosis efektif yang diterima perokok per tahun dan ketetapan UNSCEAR 2010 dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai konsentrasi radionuklida yang digunakan untuk menentukan dosis efektif tahunan ialah nilai rata-rata konsentrasi dari tiap radionuklida. Nilai koefisien dosis efektif untuk kasus inhalasi pada orang dewasa ialah $3,5 \times 10^6$ Sv/Bq untuk ^{226}Ra , $1,1 \times 10^6$ Sv/Bq untuk ^{210}Pb , dan $3,3 \times 10^6$ Sv/Bq untuk ^{210}Po (ICRP, 1995). Total nilai estimasi dosis efektif tahunan didapatkan hasilnya sebesar 88,5 μSv /tahun. Batas total dosis efektif rata-rata per tahun untuk sumber radiasi alam di seluruh dunia ialah 2400 μSv /tahun, dimana sebagian dari paparan tersebut merupakan paparan radiasi secara inhalasi yaitu sebesar 1260 μSv /tahun (UNSCEAR, 2010). Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa nilai yang didapatkan masih di bawah batas aman.

Tabel 5 Konsentrasi ^{40}K pada tembakau rokok

Radionuklida	Konsentrasi (Aktivitas spesifik) (Bq/kg)	Estimasi dosis efektif ($\mu\text{Sv}/\text{tahun}$)	Dosis efektif UNSCEAR ($\mu\text{Sv}/\text{tahun}$)
^{226}Ra	1,53	36,1	1260
^{210}Pb	2,51	18,6	
^{210}Po	1,52	33,8	
^{40}K	910,91	-	

IV. KESIMPULAN

Konsentrasi radionuklida ^{226}Ra dan ^{210}Po pada sampel tembakau rokok terukur dengan rata-rata 1,53 Bq/kg dan 1,52 Bq/kg. Nilai konsentrasi radionuklida ^{226}Ra melebihi batas konsentrasi yang diperbolehkan oleh IAEA TE 1788. Konsentrasi radionuklida ^{210}Pb pada sampel tembakau rokok tidak terukur. Konsentrasi radionuklida ^{40}K pada sampel tembakau rokok terukur dengan rata-rata 910,91 Bq/kg. Dosis efektif tahunan yang didapat masih di bawah batas dosis paparan radiasi secara inhalasi di dunia berdasarkan UNSCEAR yaitu 1260 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PTKMR-BATAN Subbidang Keselamatan Lingkungan yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat terlaksana, serta semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, A. C., Hidayanto, E., Arifin, Z., Tjahaja, P. I. & Sukmabuana, P., 2014, 'Pengukuran Tingkat Radioaktivitas ^{210}pb dan ^{40}k pada Tembakau Rokok Serta Estimasi Dosis Efektif yang Diterima dari Merokok', *Youngster Physics Journal*, Vol. 3, no. 4, pp. 207–212.
- Borgerding, M. & Klus, H., 2005, 'Analysis of complex mixtures—cigarette smoke', *Experimental and Toxicologic Pathology*, Vol. 57, pp. 43–73.
- BATAN, 2020, Spektrometer Gamma sebagai Alat dalam Karakterisasi Limbah Radioaktif Cair/Semicair, Bidang Radioekologi PTKMR-BATAN, Jakarta.
- IAKMI, T., 2020, 'Atlas Tembakau Indonesia Tahun 2020', p. 33. Available at: <http://www.tcsc-indonesia.org/wp-content/uploads/2020/06/Atlas-Tembakau-Indonesia-2020.pdf>, diakses Mei 2021.
- Ngadenin, N., 2013, 'Geologi dan Potensi Terbentuknya Mineralisasi Uranium di Daerah Harau, Sumatera Barat', *EKSPLORIUM*, Vol. 34, no.2, pp. 111–120.
- Papastefanou, C., 2007, 'Radiation dose from cigarette tobacco', *Radiation protection dosimetry*, Vol. 123, no. 1, pp. 68–73.
- Papastefanou, C., 2009, 'Radioactivity of tobacco leaves and radiation dose induced from smoking', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 6, no. 2, pp. 558–567.
- Rasito, R., Sofyan, S. and Desita, T., 2007, 'KONSENTRASI RADON DI UDARA PTNBR-BATAN BANDUNG'.
- Riskesdas, 2018, 'Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar', *Kementerian Kesehatan RI*, pp. 1–582.
- Singh, D. R. and Nilekani, S. R., 1976, 'Measurement of polonium activity in Indian tobacco', *Health Physics*, Vol. 31, no. 4, pp. 393–394.
- Sukmabuana, P., 2016, 'Kandungan ^{226}ra , ^{210}pb , ^{210}po dan ^{40}k pada Beberapa Tembakau Rokok di Indonesia', *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia (Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology)*, Vol. 17, no. 2, pp. 97–106.
- Susetyo, W., 1988, *Spektrometri gamma dan penerapannya dalam analisis pengaktifan neutron*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Turner, J. E., 2008, *Atoms, radiation, and radiation protection*, John Wiley & Sons.