



Konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan setempat – Teknik alternatif dalam kajian hakisan tanah di Malaysia

Mokhtar Jaafar¹, Hafizi Mat Salleh¹, Sharifah Mastura Syed Abdullah²

¹Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan & Persekitaran, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia,
²Institut Perubahan Iklim, Universiti Kebangsaan Malaysia

Correspondence: Mokhtar Jaafar (email: mokhtar@eoc.ukm.my)

Abstrak

Sejak akhir-akhir ini, guguran berilium-7 telah digunakan sebagai perunut jangka pendek dalam kajian hakisan tanah. Walau bagaimanapun, potensi kegunaan perunut ini masih belum diteroka sepenuhnya di Malaysia. Sehubungan itu kajian telah dilakukan di Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) bagi mengesan aktiviti berilium-7 di dalam air hujan. Sebanyak 23 kejadian hujan yang signifikan dari Januari hingga Oktober 2011 dijadikan sampel kajian. Hasil kajian menunjukkan konsentrasi berilium-7 dalam air hujan berada pada tahap rendah hingga sederhana sahaja dengan nilai purata 0.89 Bq l⁻¹. Faktor jumlah hujan didapati sederhana signifikan dalam mempengaruhi aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Sehubungan itu, radionuklid berilium-7 berpotensi digunakan sebagai perunut dalam kajian hakisan tanah terutama apabila jumlah hujan adalah banyak bagi sesuatu kejadian hujan kerana berupaya mengakumulasi atom-atom berilium-7 dengan partikel terampai di ruang udara.

Katakunci: berilium-7, hakisan tanah, , jumlah hujan, kejadian hujan, perunut, radionuklid kosmogenik

Concentration of beryllium-7 activity in local rain water – An alternative technique in Malaysian soil erosion study

Abstract

Beryllium-7 is being increasingly accepted and used as a short-term tracer in soil erosion investigation. However, the potential of using this tracer has not been fully explored in Malaysia. Therefore, this investigation was conducted in Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) to identify the activity of beryllium-7 in rain water. In total, 23 significant rainfall events from January to October 2011 were utilised as the study samples. Findings showed that the concentration of beryllium-7 in rain water was between low and moderate levels only with an average value of 0.89 Bq l⁻¹. The factor of total rainfall was moderately significant in affecting beryllium-7 activity in rain water. This meant that radionuclide of beryllium-7 could be used potentially as a tracer in the investigation of soil erosion especially when the total rainfall for each rainfall event was capable of accumulating beryllium-7 atoms with suspended particles in the atmosphere.

Keywords: beryllium-7, cosmogenic radionuclide, rainfall events, soil erosion, total rainfall, tracer

Pengenalan

Penggunaan guguran radionuklid kosmogenik berilium-7 sebagai perunut dalam kajian hakisan tanah kerap digunakan untuk menganggar hakisan tanah jangka pendek. Guguran berilium-7 berasal daripada

atom berilium-7 yang terbentuk melalui kosmik-ray di ruang udara troposfera dan stratosfera. Bonniwell et al. (1999) menyatakan pembentukan berilium-7 bermula di bahagian stratosfera akibat daripada *spallation* nitrogen dan oksigen. Pada masa yang sama, konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam ruang atmosfera juga berbeza-beza secara ruangan dan masa. Perbezaan ini bergantung pada kedudukan latitud dan longitud sesuatu kawasan (Mokhtar et al., 2011). Menurut Lal et al. (1958), penghasilan berilium-7 dalam ruang udara lebih efektif di kawasan berlatitud tinggi. Brost et al. (1991) pula menyatakan aktiviti berilium-7 lebih tertumpu di ruang udara stratosfera atas. Namun begitu, konsentrasi aktiviti berilium-7 masih terkesan di bahagian troposfera atas tetapi akan berkurangan apabila menghampiri ruang troposfera bawah.

Ioannidou dan Papastefanou (2006) menyatakan atom-atom berilium-7 berakumulasi dengan partikel submikron dalam ruang udara dan kemudiannya membentuk bahan deposit basah yang gugur ke permukaan bumi melalui air hujan. Guguran berilium-7 yang sampai ke permukaan tanah kemudiannya dengan pantas akan diserap oleh kumin-kumin tanah terutama tanah liat (Hawley et al., 1986; Wallbrink & Murray, 1996; Blake et al., 1999).

Keupayaan guguran berilium-7 di permukaan tanah sebagai perunut hakisan tanah telah dibuktikan oleh ramai pengkaji seperti Blake et al. (1999), Christopher et al. (2003), Yang et al. (2006), Sepulveda et al. (2008) dan Mokhtar dan Walling (2010). Walau bagaimanapun, keberkesanan penggunaan guguran berilium-7 sebagai perunut hakisan tanah bergantung pada kadar konsentrasi aktiviti di dalam kolom-kolom tanah. Kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 di dalam tanah pula bergantung pada kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 di dalam air hujan. Ini bermakna, jika kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 di dalam air hujan adalah tinggi maka diandaikan kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 di dalam tanah juga adalah tinggi dan signifikan dijadikan sebagai penyuruh hakisan tanah, dan sebaliknya. Penyataan ini disokong oleh Olsen et al. (1985) serta Wallbrink dan Murray (1994).

Beberapa kajian telah melaporkan kadar aktiviti berilium-7 yang pelbagai. Miyake dan Ohtsuka (1964) melaporkan jumlah aktiviti berilium-7 dalam kolom udara adalah lebih besar pada musim sejuk berbanding musim panas. Caillet et al. (2001) pula melaporkan lebih banyak aktiviti berilium-7 dikesan dalam air hujan pada akhir musim luruh dan musim panas. Sebagai tambahan, turut dilaporkan konsentrasi aktiviti berilium-7 merosot dalam kejadian hujan yang lebat dan bagi suatu tempoh yang lama. Ini kerana berlaku kehilangan partikel terampai dalam ruang udara dengan cepat akibat basuhan hujan yang lebat. Manakala Ayub et al. (2012) melaporkan tiada hubungan yang jelas antara konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan dengan jumlah hujan (mm), purata intensiti hujan (mm h^{-1}), tempoh hujan (h^{-1}) dan tempoh masa antara satu kejadian hujan dengan kejadian hujan berikutnya.

Dalam konteks Malaysia, kajian kepustakaan yang dilakukan oleh penulis tidak menemui sebarang rujukan berkaitan dengan dokumentasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan mahupun penggunaan guguran berilium-7 sebagai perunut hakisan tanah. Sehubungan itu, penulis telah menggerakkan penyelidikan bagi mengumpul data asas mengenai aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Data asas yang dikumpulkan bertujuan untuk memahami pola aktiviti berilium-7 dalam air hujan, dan seterusnya menilai potensi guguran berilium-7 sebagai perunuth bagi kajian hakisan tanah dalam persekitaran Malaysia. Bagi memudahkan usaha awal penyelidikan ini, kajian telah dilakukan di Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, Selangor.

Metod kajian

Bagi mengukur kadar konsentrasi aktiviti radionuklid berilium-7 di dalam air hujan, pengumpulan air hujan adalah menggunakan besen takungan bersaiz 1 m x 0.5 m x 0.3 m. Besen takungan ini diletakkan di atas bumbung bangunan yang rata tanpa sebarang halangan pergerakan angin iaitu di bumbung Bangunan Blok C, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, UKM. Sejumlah 23 kejadian hujan yang mampu mengumpul sekurang-kurangnya 15 liter air hujan di dalam besen takungan sahaja dijadikan sebagai sampel kajian. Kejadian hujan yang signifikan tersebut bermula pada Januari hingga Oktober 2011.

Semua sampel air hujan di dalam besen takungan dipindahkan ke dalam tong secepat mungkin sebaik sahaja hujan telah berhenti. Sampel air di dalam tong pula dibawa balik dengan segera ke makmal dan digoncang untuk memastikan bahan keladak di dalam sampel air hujan tidak termendap di bahagian dasar tong. Sebanyak 1 liter sampel air tersebut kemudiannya dipindahkan ke dalam bikar bersaiz 1 liter ke dalam 10 bikar. Ini bermakna, jumlah sampel air yang digunapakai untuk menentukan kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 bagi sesuatu kejadian hujan adalah 10 liter sahaja.

Setiap bikar yang mengandungi 1 liter sampel air hujan dicampur pula dengan 0.5 ml ammonia klorid (NH_4Cl), 0.5 ml kalium permanganat (KMnO_4) dan 0.5 ml mangan klorida (MnCl_2). Campuran bahan kimia tersebut akan melibatkan proses penarikan zarah-zarah berilium-7 di dalam sampel air hujan. Setelah seketika, sampel air hujan dan campuran bahan kimia tersebut dituras menggunakan kertas turas membran bersaiz $0.45 \mu\text{m}$. Setelah proses turasan selesai, kertas turas yang mempunyai bahan mendak di atasnya dan masih basah dikeringkan di dalam balang pengering selama 24 jam. Seterusnya, kertas turas yang telah kering dengan segera dihantar ke Jabatan Sains Nuklear, Fakulti Sains dan Teknologi, UKM, untuk proses mengukur aktiviti berilium-7.

Pengukuran aktiviti berilium-7 adalah menggunakan alat pengesan spektrometer gamma beresolusi tinggi. Alat pengesan ini akan dapat mengesan radioaktiviti sisa turasan melalui sinar gamma. Proses pengesanan ini ditetapkan pada kuasa 475 keV dengan kiraan masa sekurang-kurangnya lapan jam (28,000 saat). Pengiraan bagi menganggar kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 pula adalah berdasarkan rumus yang dikemukakan oleh Ioannidou dan Papastefanou (2006) seperti berikut:

$$C_t = C_o e^{-kt} \quad (1)$$

di mana C_t adalah konsentrasi berilium-7 dalam sampel air hujan yang telah dituras (Bq l^{-1}), C_o adalah konsentrasi asal berilium-7 dalam air hujan per liter ($C_o = 135 \text{ Bq l}^{-1}$), k adalah nilai konstan penyingkiran berilium-7 dalam air hujan per jam ($k = 0.53 \text{ h}^{-1}$), dan t adalah tempoh masa kejadian hujan. Koefisien korelasi yang digunakan adalah 0.91. Bacaan yang diperolehi daripada proses pengukuran aktiviti berilium-7 melalui alat pengesan spektrometer gamma beresolusi tinggi tersebut kemudiannya ditukar kepada unit Bq l^{-1} .

Hasil kajian dan perbincangan

Kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam 23 sampel air hujan didapati berbeza-beza. Julat nilai aktiviti berilium-7 yang diperolehi adalah antara $0.61 - 1.09 \text{ Bq l}^{-1}$, dengan nilai purata 0.89 Bq l^{-1} (Jadual 1). Nilai yang diperolehi ini boleh dianggap rendah jika dibandingkan dengan dapatan Olsen et al. (1985), Schuller et al. (1991), Wallbrink dan Murray (1994), dan Caillet et al. (2001). Jumlah aktiviti berilium-7 yang dicatatkan daripada 23 kejadian hujan yang disampelkan adalah 20.45 Bq l^{-1} .

Dalam konteks kategori hujan, kejadian hujan sederhana (jumlah hujan antara 40-59 mm) mencatatkan aktiviti berilium-7 yang lebih banyak iaitu 42.2 peratus daripada jumlah keseluruhan aktiviti berilium-7 dalam sampel air atau bersamaan dengan 8.62 Bq l^{-1} . Kejadian hujan yang rendah (jumlah hujan kurang daripada 40 mm) mencatatkan 33.0 peratus bagi aktiviti yang sama atau bersamaan dengan 6.74 Bq l^{-1} , dan peratusan selebihnya dicatatkan bagi kejadian hujan lebat (jumlah hujan 60 mm dan ke atas) atau bersamaan dengan 5.09 Bq l^{-1} . Secara lebih terperinci, jika nilai purata aktiviti berilium-7 diambilkira, didapati tiada perbezaan signifikan aktiviti tersebut bagi kejadian hujan rendah dan kejadian hujan sederhana (Jadual 2). Kejadian hujan rendah dan sederhana masing-masing mencatatkan nilai purata sebanyak 0.84 dan 0.86 Bq l^{-1} . Perbezaan nilai purata hujan bagi kedua-dua kategori kejadian hujan tersebut pula adalah 13.4 mm.

Berbeza pula dengan pola hujan dan aktiviti berilium-7 bagi kategori hujan tahap lebat. Walaupun hanya lima kejadian kes hujan lebat sahaja yang diperolehi sepanjang tempoh kerja lapangan namun purata hujan adalah yang tertinggi iaitu 65.94 mm. Malah jumlah aktiviti berilium-7 yang dicatatkan

dalam sampel air hujan bagi kategori ini juga adalah yang terendah iaitu hanya 5.09 Bq l⁻¹. Namun begitu, kejadian hujan lebat mencatatkan nilai purata aktiviti berilium-7 tertinggi iaitu 1.02 Bq l⁻¹.

Kekuatan hubungan antara jumlah hujan dan kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan pula adalah $r^2 = 0.774$. Nilai ini menunjukkan terdapat hubungan yang sederhana signifikan di mana semakin banyak jumlah hujan maka semakin tinggi nilai konsentrasi aktiviti berilium-7 berlaku dalam air hujan. Dapatan ini hampir sama dengan dapatan Caillet et al. (2001) yang turut melaporkan koefisien korelasi antara kedua-dua pembolehubah tersebut pada nilai $r^2 = 0.66$. Hubungan yang sederhana ini mungkin dapat dikaitkan dengan pola konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan pada setiap tahap seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Umumnya, semakin rendah jumlah hujan maka konsentrasi berilium-7 dalam air hujan semakin kurang, dan sebaliknya. Manakala bagi jumlah hujan pada tahap sederhana pula tidak menunjukkan pola aktiviti berilium-7 yang berbeza bagi tahap hujan yang sederhana.

Jadual 1. Pola aktiviti berilium-7 dalam sampel air hujan

Tarikh (2011)	Jumlah hujan (mm)	Aktiviti Be-7 (Bq l ⁻¹)
4 Jan.	39.2	1.02
12 Feb.	38.2	0.82
18 Mac	32.5	1.04
20 Mac	33.6	0.73
15 Apr.	29.0	0.92
20 Apr.	33.2	0.72
<u>26 Apr.</u>	<u>75.5</u>	<u>1.06</u>
28 Apr.	45.2	0.69
17 Mei	56.0	1.04
18 Mei	36.4	0.80
29 Julai	42.1	1.03
30 Julai	38.9	0.69
3 Ogos	53.2	1.09
4 Ogos	49.0	0.67
<u>12 Ogos</u>	<u>61.4</u>	<u>1.05</u>
<u>22 Ogos</u>	<u>65.4</u>	<u>1.09</u>
24 Ogos	52.6	0.72
26 Ogos	47.8	0.61
<u>14 Sept.</u>	<u>61.3</u>	<u>1.06</u>
5 Okt.	42.1	1.03
16 Okt.	55.5	1.03
<u>19 Okt.</u>	<u>66.1</u>	<u>0.83</u>
25 Okt.	41.7	0.71
JUMLAH	1,095.9	20.45
Nilai Purata	47.7	0.89

Nota: 4 Jan. (hujan rendah)
4 Ogos (hujan sederhana)
19 Okt. (hujan lebat)

Jadual 2. Aktiviti berilium-7 dalam air hujan berdasarkan kategori hujan

	Tahap hujan rendah	Tahap hujan sederhana	Tahap hujan lebat
Jumlah hujan (mm)	281	485.2	329.7
Purata hujan (mm)	35.12	48.52	65.94
Jumlah aktiviti berilium-7 (Bq l ⁻¹)	6.74	8.62	5.09
Purata aktiviti berilium-7 (Bq l ⁻¹)	0.84	0.86	1.02

Jadual 3. Pecahan aktiviti berilium-7 dalam air hujan berdasarkan kategori tahap hujan

	Aktiviti berilium-7 tahap rendah ($< 0.5 \text{ Bq l}^{-1}$)	Aktiviti berilium-7 tahap sederhana ($0.5 - 0.9 \text{ Bq l}^{-1}$)	Aktiviti berilium-7 7 tahap tinggi ($\geq 1 \text{ Bq l}^{-1}$)	JUMLAH
Tahap hujan rendah	-	6	2	8
Tahap hujan sederhana	-	5	5	10
Tahap hujan lebat	-	1	4	5
JUMLAH	-	12	11	23

Secara statistik, faktor selang masa hujan didapati tidak signifikan dalam mempengaruhi konsentrasi aktiviti berilium-7. Koefisien korelasi yang diperolehi antara parameter selang hari hujan dan aktiviti berilium-7 dalam sampel air hujan hanyalah pada nilai $r^2 = 0.221$ sahaja. Walau bagaimanapun, jika diteliti data aktiviti berilium-7 dan tarikh sesuatu kejadian hujan secara lebih terperinci maka dapatlah dinyatakan bahawa masih wujud hubungan yang kuat antara kedua-dua parameter tersebut. Sebagai contoh, kejadian hujan pada 18 Mac 2011 mencatatkan konsentrasi aktiviti berilium-7 berjumlah 1.04 Bq l^{-1} . Kejadian hujan berikutnya adalah pada 20 Mac 2011, iaitu dua hari selepas kejadian hujan sebelumnya, hanya mampu mencatatkan konsentrasi aktiviti berilium-7 yang semakin rendah iaitu 0.73 . Pola yang hampir sama juga diperolehi bagi beberapa kejadian hujan lain seperti yang bertarikh (i) 26 dan 28 April 2011, (ii) 3 dan 4 Ogos 2011, dan (iii) 24 dan 26 Ogos 2011; di mana konsentrasi aktiviti berilium-7 telah berkurang selepas kejadian hujan sebelumnya (Rujuk Jadual 1). Ini membuktikan bahawa selang masa yang singkat iaitu hanya dua hari, antara kejadian hujan pertama dan hujan berikutnya tidak berupaya meningkatkan aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Ini mudah difahami kerana selang masa kejadian hujan yang singkat tidak berupaya untuk membenarkan atom-atom berilium-7 berakumulasi secara berkesan dengan partikel-partikel terampai dalam ruang udara. Pada masa yang sama, jumlah konsentrasi partikel terampai dalam ruang udara antara selang masa dua kejadian hujan yang singkat telah berkurangan akibat 'basuhan' air hujan sebelum kejadian hujan berikutnya sebagaimana dilaporkan oleh Ioannidou dan Papastefanou (2006), dan Ayub et al. (2012).

Bagi selang masa kejadian hujan yang lebih lama, sekurang-kurangnya tiga hari, didapati mampu meningkatkan konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Ini dapat dibuktikan bagi kejadian hujan bertarikh 20 dan 26 April 2011, 30 Julai dan 3 Ogos 2011, serta 4 dan 12 Ogos 2011. Setiap selang masa kejadian hujan tersebut, masing-masing berupaya meningkatkan konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan sebanyak 32.1, 36.7 dan 36.2 peratus. Hanya kejadian hujan pada 5 dan 16 Oktober sahaja yang menunjukkan konsentrasi berilium-7 yang sama selepas tempoh selang masa hujan selama 11 hari iaitu 1.03 Bq l^{-1} .

Dalam konteks musiman, kajian yang dilakukan membahagikan kejadian hujan dari Januari hingga Julai sebagai musim kering manakala Ogos hingga Oktober sebagai musim basah. Pembahagian ini didasarkan pada taburan hujan bagi bulan-bulan berkaitan sepanjang tahun 2011 sahaja. Berdasarkan pembahagian tersebut, jumlah aktiviti berilium-7 yang diperolehi pada musim basah adalah 596.1 Bq l^{-1} . Jumlah ini hanya mencatatkan perbezaan sebanyak 3.12 peratus sahaja dengan jumlah aktiviti berilium-7 pada musim kering iaitu 577.2 Bq l^{-1} . Walau bagaimanapun, daripada segi nilai purata, perbezaan aktiviti berilium-7 pada musim basah berbanding musim kering adalah sebanyak 11.25 peratus. Nilai purata aktiviti berilium-7 pada musim basah yang dicatatkan daripada 11 kejadian hujan adalah lebih tinggi daripada musim basah iaitu masing-masing bernilai 54.2 dan 48.1 Bq l^{-1} .

Sekiranya jumlah hujan diambilkira sebagai faktor dominan dalam mempengaruhi konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan maka nilai purata aktiviti berilium-7 dalam sampel air hujan pada musim basah dapatlah diterima. Ini kerana, semakin tinggi jumlah hujan maka aktiviti berilium-7 dalam air hujan juga akan meningkat (Olsen et al., 1985; Schuler et al., 1991). Sekiranya faktor musiman juga dipertimbangkan maka dapatlah dinyatakan bahawa tiada perbezaan yang signifikan antara jumlah aktiviti berilium-7 yang berlaku dalam air hujan kerana perbezaannya hanya 3.12 peratus sahaja.

Berdasarkan pelaporan di atas dapatlah dinyatakan bahawa aktiviti berilium-7 dalam air hujan dalam persekitaran UKM adalah rendah jika dibandingkan dapatan pengkaji lain. Wallbrink dan Murray (1994) melaporkan nilai maksimum aktiviti berilium-7 dalam persekitaran hujan di bahagian selatan Australia adalah sehingga 5.9 Bq l^{-1} . Caillet et al. (2001) melaporkan aktiviti berilium-7 dalam air hujan yang lebih tinggi iaitu daripada julat 0.93 hingga 10.45 Bq l^{-1} bagi persekitaran hujan di bahagian selatan England. Perkara ini dapat dikaitkan dengan perolakan ke atas yang lebih cepat berlaku bagi kawasan beraltitud tinggi berbanding kawasan seperti di Malaysia.

Jumlah hujan juga adalah faktor penting dalam menentukan kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Semakin banyak jumlah hujan yang dicatatkan maka semakin tinggi jumlah aktiviti berilium-7 dalam air hujan, dan sebaliknya. Ini dapat dikaitkan dengan pengaruh hujan setempat di mana hujan lebat yang turun bagi tempoh yang singkat lebih efektif mengumpul atom-atom berilium-7 yang telah berakumulasi dengan partikel terampai dalam ruang udara. Berbeza dengan hujan lebat bagi tempoh yang panjang di mana atom-atom berilium-7 yang telah berakumulasi dengan partikel aerosol dalam ruang udara akan mudah hilang akibat 'basuhan' yang lama dengan air hujan.

Faktor musiman secara umumnya tidak menunjukkan perbezaan ketara dalam mempengaruhi kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Jumlah hujan yang banyak pada musim basah serta kekerapan kejadian hujan pada musim tersebut tidak menghasilkan jumlah aktiviti berilium-7 yang ketara lebih banyak berbanding musim kering. Sedangkan hujan yang turun pada musim kering, dan secara umumnya jumlah hujan pada musim tersebut adalah kurang berbanding jumlah hujan pada musim basah tetapi masih mampu menghasilkan jumlah aktiviti berilium-7 yang tidak ketara berbeza dengan jumlah aktiviti berilium-7 pada musim basah. Ini mungkin berkait dengan selang masa hujan bagi sesuatu kejadian hujan dengan kejadian hujan berikutnya pada musim kering adalah lebih lama. Berbeza dengan selang masa hujan pada musim basah di mana selang masa hujan mempunyai jarak hari yang agak rapat.

Berdasarkan dapatan yang dilaporkan, potensi radionuklid berilium-7 untuk dijadikan penyurih dalam kajian hakisan tanah dalam persekitaran Malaysia dapat dinilai. Pertimbangan yang diperlukan adalah mengenai empat perkara iaitu (i) kemampuan atom-atom berilium-7 untuk berakumulasi dengan partikel terampai dalam ruang udara, (ii) konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan, (iii) jumlah guguran berilium-7 yang sampai ke permukaan tanah, dan (iv) konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam kolom tanah. Bagi perkara (i), walaupun Lal et al. (1958) dan Brost et al. (1991) menyatakan pembentukan atom-atom berilium-7 lebih efektif dalam ruang udara di kawasan beraltitud tinggi namun pembentukan atom-atom berilium-7 dalam ruang udara di Malaysia juga tidak terkecuali. Kajian yang dilakukan oleh penulis tidak menumpu pada aktiviti atom-atom berilium-7 dalam ruang udara menyebabkan pertimbangan bagi perkara (i) ini tidak dapat dibuat sebarang kenyataan dalam artikel ini. Namun, sebagai rujukan, kajian oleh Feely et al. (1989), Yoshimori (2005), dan Keyan et al. (2013) menunjukkan zon wilayah sebelah timur Asia mencatatkan kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 yang signifikan dalam ruang troposfera. Brost et al. (1991) pula menyatakan zon wilayah yang mencatatkan jumlah presipitasi yang tinggi mempunyai deposit berilium-7 yang lebih banyak berbanding zon wilayah kering beraltitud tinggi seperti di benua Afrika Utara dan Timur Tengah Asia. Ini bermakna, atom-atom berilium-7 dalam ruang udara Malaysia juga berpotensi tinggi berakumulasi dengan partikel aerosol dalam ruang udara stratosfera-troposfera. Lanjutan daripada ini, maka pertimbangan bagi perkara (ii) secara tidak langsung terikat pada pola dan taburan atom-atom berilium-7 dalam ruang udara. Semakin tinggi peluang atom-atom berilium-7 berakumulasi dengan partikel aerosol dalam ruang udara, dan disertai dengan jumlah presipitasi yang tinggi maka semakin banyak juga aktiviti berilium-7 yang terhasil dalam air hujan.

Seterusnya, pertimbangan perkara (iii) terkait juga dengan pertimbangan perkara (ii) di mana jika aktiviti berilium-7 dalam air hujan adalah banyak maka diandaikan juga guguran berilium-7 yang sampai ke permukaan tanah adalah mencukupi atau signifikan untuk dijadikan sebagai perunut hakisan tanah. Menurut Caillet et al. (2001), berilium-7 dalam ruang udara dipindahkan ke bahagian permukaan tanah melalui pemendapan basah dan pemendapan kering. Namun begitu, secara umumnya, tidak semua guguran berilium-7 daripada air hujan akan sampai ke permukaan tanah. Sebahagian besar guguran berilium-7 mungkin telah terlebih dahulu ditampai oleh tumbuh-tumbuhan seperti melalui dedaunan, ranting dan batang pokok serta rumput yang meliputi permukaan tanah. Guguran berilium-7 yang sampai

terus ke permukaan tanah pula mungkin hilang digerakkan oleh air larian permukaan menyebabkan sebahagian besar guguran berilium-7 tidak sempat berinfiltrasi ke dalam tanah. Ini akan terkait pula dengan pertimbangan perkara (iv) kerana kekurangan guguran berilium-7 pada permukaan tanah akan juga mengurangkan aktiviti berilium-7 di dalam kolom tanah. Secara umumnya, tanah liat dapat memerangkap lebih banyak guguran berilium-7 dalam kolom tanahnya berbanding tanah pasir dan lempung.

Wallbrink dan Murray (1994) melaporkan bahawa korelasi antara konsentrasi berilium-7 dan jumlah hujan yang kurang daripada 25 mm adalah signifikan. Sehubungan itu, aktiviti berilium-7 dalam tanah juga dilaporkan rendah dengan nilai kumulatif bersih aktiviti berilium-7 dalam tanah berjulat antara 140-340 Bq m⁻² sahaja manakala Walling (2003) pula melaporkan julat yang lebih rendah iaitu 176 dan 291 Bq m⁻², masing-masing bagi permukaan tanah yang dilitupi rumput dan tanaman makanan. Blake et al. (1999) melaporkan nilai maksimum aktiviti berilium-7 dalam tanah adalah 58 Bq kg⁻¹. Yang et al. (2006) pula melaporkan julat aktiviti berilium-7 dalam tanah antara 10.3-77.4 Bq kg⁻¹. Berdasarkan contoh yang dikemukakan dapatlah dilihat pola aktiviti berilium-7 dalam tanah di mana secara umumnya dapat dinyatakan bahawa konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam tanah adalah antara rendah dan sederhana jika dibandingkan dengan konsentrasi aktiviti cesium-137.

Berdasarkan semua perbincangan di atas, dapatlah dinyatakan bahawa penggunaan radionuklid berilium-7 sebagai perunut hakisan tanah dalam persekitaran Malaysia masih berpotensi. Walaupun kadar konsentrasi aktiviti berilium-7 yang diperolehi dalam sampel air hujan adalah rendah namun dengan mengambil kira jumlah yang rendah tersebut, persampelan tanah harus dilakukan secara lebih teliti. Ini berkait dengan keperluan mengambil sampel tanah bagi kajian hakisan tanah bagi kejadian hujan yang lebat, tempoh masa hujan yang tidak terlalu lama, dan selang masa sesuatu kejadian hujan yang tidak terlalu singkat.

Kesimpulan

Artikel ini melaporkan konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Hasil kajian mendapati konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan adalah sederhana. Namun begitu, potensi penggunaan guguran berilium-7 sebagai perunut kajian hakisan tanah masih relevan. Faktor jumlah hujan dan selang masa hujan didapati penting dalam mempengaruhi konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Sehubungan itu, teknik radionuklid berilium-7 boleh digunakan dalam persekitaran Malaysia sebagai alternatif kepada kaedah tradisional seperti plot eksperimen dan penggunaan pin hakisan, untuk menganggar kadar hakisan tanah jangka pendek. Walaupun begitu, kajian seterusnya amat digalakkan di lokasi-lokasi lain dalam persekitaran berbeza-beza di Malaysia bagi mendokumentasikan aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Usaha sedemikian akan dapat membantu mewujudkan pangkalan data asas aktiviti berilium-7 dalam air hujan di Malaysia dan seterusnya dapat membantu usaha mengguna radionuklid tersebut sebagai alternatif dalam kajian hakisan tanah di Malaysia.

Penghargaan

Artikel ini dapat dihasilkan melalui penyelidikan ke atas kajian potensi penggunaan berilium-7 sebagai perunut hakisan tanah yang dibiayai oleh geran penyelidikan berkod UKM-SK-08-FRGS0231-2010.

Rujukan

Ayub JJ, Lohaiza F, Velasco M, Rizzotto M, Di Gregorio D, Huck H (2012) Assessment of ⁷Be content in precipitation in a South American semi-arid environment. *Science of The Total Environment* 441(15), 111-116.

- Blake WH, Walling DE, He Q (1999) Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigation. *Applied Radiation and Isotop* **51**, 599-605.
- Bonniwell EC, Matisoff G, Whiting PJ (1999) Determining the times and distances of particle transit in a mountain stream using fallout radionuclides. *Geomorphology* **27**, 75-92.
- Brost RA, Feicher J, Heimann M (1991) Three-dimensional simulation of ^7Be in a global climate model. *Journal of Geophysical Research* **96**(12), 423-445.
- Caillet S, Arpagaus P, Monna F, Dominik J (2001) Factors controlling beryllium-7 and Pb^{210} atmospheric deposition as revealed by sampling individual rain events in the region of Geneva, Switzerland. *Journal of Environmental Radioactivity* **53**, 241-254.
- Christopher GW, Gerald M, Peter JW (2003) Short-term erosion rates from a ^7Be inventory balance. *Earth Surface Processes and Landforms* **28**, 167-177.
- Feely HW, Larsen RJ, Sanderson CG (1989) Factors that cause seasonal variations in beryllium-7 concentrations in surface air. *Journal of Environmental Radioactivity* **9**(3), 223-249.
- Hawley NJ, Robbins JA, Eadie BJ (1986) The partitioning of beryllium-7 in fresh water. *Geochim. Cosmochim. Acta* **50**, 1127-1131.
- Ioannidou A, Papastefanou C (2006) Precipitation scavenging of beryllium-7 and caesium-137 radionuclides in air. *Journal of Environmental Radioactivity* **85**, 121-136.
- Keyan T, Yongliang Y, Xiaohua Z, Yong L, Shu C, Hanqing Y, Xingchun J, Nan G, Yi H (2013) Beryllium-7 in near-surface atmospheric aerosols in mid-latitude (40°N) city Beijing, China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **298**(2), 883-891.
- Lal D, Malhorta PK, Peters B (1958) On the production of radio isotopes in the atmosphere by cosmic ray radiation and their application to meteorology. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* **12**, 306-328.
- Miyake Y, Ohtsuka Y (1964) Beryllium-7 in rain water. *Pap. Met. Geophys.* **15**, 89-92.
- Mokhtar J, Hafizi MS, Sharifah Mastura SA, Muhd. Asrul Affendee S (2011) Penggunaan teknik berilium-7 untuk menganggar kadar hakisan tanah jangka pendek. *e-Bangi* **6**(2), 302-312.
- Mokhtar J, Walling DE (2010) Assessing the impact of fodder maize cultivation on soil erosion in the UK. In: Zdrulli P, Pagliai M, Kapur S, Faz Cano A (eds) *Land degradation and desertification: Assessment, mitigation and remediation*, pp.581-588. Springer, Dordrecht.
- Olsen CR, Larsen IL, Lowry PD, Cutshall NH, Todd JF, Wong GT, Casey WH (1985) Atmospheric fluxes and marsh-soil inventories of ^7Be and ^{210}Pb . *Journal of Geophysical Research* **90**(D6), 10,487-10-495.
- Schuler C, Wieland E, Santschi PH, Sturm M, Lueck A, Bollhalder S, Beer J, Bonani G, Hofmann HJ, Suter M, Wolfi W (1991) A multitracer of radionuclides in Lake Zurich, Switzerland: Comparison of atmospheric and sedimentary fluxes of ^7Be , ^{10}Be , ^{210}Pb , ^{210}Po and ^{137}Cs . *Journal of Geophysical Research* **96**(C9), 17,051-17,065.
- Schuller P, Iroumé A, Walling DE, Mancilla HB, Castillo A, Trumper RE (2006) Use of beryllium-7 to document soil redistribution following forest harvest operations. *Journal of Environmental Quality* **35**, 1,756-1,763.
- Sepulveda A, Schuller P, Walling DE, Castillo A (2008) Use of ^7Be to document soil erosion associated with a short period of extreme rainfall. *Journal of Environmental Radioactivity* **99**, 35-49.
- Wallbrink PJ, Murray AS (1994) Fallout of ^7Be over South Eastern Australia. *Journal of Environmental Radioactivity* **25**, 213-228.
- Wallbrink PJ, Murray AS (1996) Distribution of ^7Be in soils under different surface cover conditions and its potential for describing soil redistribution processes. *Water Resources Research* **32**, 467-476.
- Yang MY, Walling DE, Tian JL, Liu PL (2006) Partitioning the contributions of sheet and rill erosion using beryllium-7 and cesium-137. *Soil Science Society of America Journal* **70**, 1579-1590.
- Yoshimori M (2005) Beryllium-7 radionuclide as a tracer of vertical air mass transport in the troposphere. *Advances in Space Research* **36**(5), 828-832.