

PENGGUNAAN TEKNIK BERILIUM-7 UNTUK MENGANGGAR KADAR HAKISAN TANIH JANGKA PENDEK

(The Use of Beryllium-7 Technique in Estimating Short-term Soil Erosion Rates)

Mokhtar Jaafar, Hafizi Mat Salleh, Sharifah Mastura Syed Abdullah, Muhd Asrul Affendee Sudin

ABSTRAK

Artikel ini merencanakan kegunaan radionuklid berilium-7 sebagai bahan surihan alternatif dalam kajian hakisan tanah. Kegunaan berilium-7 dalam kajian hakisan tanah adalah untuk menganggar kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah jangka pendek berdasarkan kejadian hujan semasa. Kemampuan radionuklid berilium-7 telah terbukti melalui beberapa kajian yang menguji potensi radionuklid ini sebagai penyurih yang efisien dan signifikan untuk menganggar kadar hakisan tanah jangka pendek. Penggunaan radionuklid berilium-7 dalam kajian hakisan tanah harus dilakukan secara sistematik dengan memenuhi beberapa andaian penting dan memahami batasan penggunaannya berdasarkan ciri sesuatu ekosistem. Walau bagaimanapun, berilium-7 tetap sesuai digunakan sebagai penyurih hakisan tanah jangka pendek dalam pelbagai ekosistem selagi andaian dan batasan kepenggunaannya dipatuhi.

Keywords: *teknik radionuklid, hakisan tanah, taburan semula tanah, radionuklid kosmogenik, berilium-7*

ABSTRACT

This article described the use of beryllium-7 radionuclide as an alternative tracer in soil erosion study. The use of beryllium-7 in soil erosion study is to estimate short-term rates of soil erosion and soil loss associated with initial rainfall event. Capability of beryllium-7 has been proven by many studies on its potential as an effective and significant tracer in estimating short-term rates of soil erosion. The use of beryllium-7 in soil erosion study should be done systematically and comply with several assumptions and understand the limits of its usage based on the ecosystem characteristics. However, beryllium-7 is remaining suitable for use as short-term soil erosion tracer in various ecosystems as long the assumptions and limitations are complied.

Keywords: *radionuclide techniques, soil erosion, soil redistribution, cosmogenic radionuclide, beryllium-7*

PENGENALAN

Salah satu masalah alam sekitar yang sering menjadi hambatan dalam sesuatu proses pembangunan adalah masalah hakisan tanah. Secara umumnya, hakisan tanah merupakan salah satu proses fizikal yang menyumbang kepada degradasi tanah sehingga boleh menghasilkan masalah alam sekitar turutan yang lebih serius seperti ketidaksuburan tanah dan runtuh tanah. Menurut Pimentel dan Kounang (1998), sebanyak 75 billion ton tanah telah terhakis daripada pelbagai ekosistem dunia setiap tahun, dan tanah pertanian telah dikenalpasti sebagai ekosistem yang paling berisiko tinggi mengalami hakisan. Sebagai tambahan, FAO (2003) melaporkan satu pertiga daripada tanah pertanian dunia ditanami dengan tanaman tuaian dan tanah pertanian begini adalah yang paling mudah terhakis oleh tindakan agen hakisan.

Hakisan tanah menjadi salah satu masalah utama terhadap keseimbangan alam sekitar terutama bagi sektor pertanian. Kejadian hakisan tanah boleh menyebabkan produktiviti pertanian yang rendah akibat kekurangan nutrien. Hakisan tanah pada permukaan tanah oleh air larian mengurangkan keupayaan infiltrasi dan boleh menyebabkan peningkatan dalam kadar larian air permukaan dan mengurangkan kadar simpanan air dalam tanah. Weibe (2003)

menganggarkan kekurangan hasil pertanian dunia akibat kejadian hakisan tanah sebanyak 0.6 peratus setahun bagi tanaman kentang, 0.48 peratus setahun bagi tanaman millet dan 0.42 peratus setahun bagi tanaman jagung.

Kejadian hakisan tanah, selain daripada mendegradasi tanah, turut menyumbang kepada pencemaran sungai yang serius melalui pemindahan sedimen terhakis oleh air larian ke dalam sistem sungai. Impak luaran daripada hakisan tanah ke atas sistem sungai adalah pelbagai seperti merendahkan status biologi dan kualiti air sungai lantas boleh mengancam kehidupan akuatik, serta boleh menyebabkan kejadian banjir apabila berlaku limpahan aliran sungai akibat sedimentasi berlebihan di bahagian dasar sungai. Kemusnahan luaran akibat kejadian hakisan tanah sering kali sukar dikuantifikasikan secara tepat dan tidak juga dapat dinafikan bahawa kos kemusnahan tersebut adalah sangat tinggi terutama apabila melibatkan kehilangan nyawa dan kemusnahan harta benda.

Sehubungan itu, pelbagai usaha telah dilakukan oleh para saintis di seluruh dunia bagi memahami proses hakisan tanah dan langkah memitigasi impaknya dengan tujuan untuk mengatasi, atau sekurang-kurangnya mengurangi kesan langsung dan tidak langsung daripada kejadian hakisan tanah ke atas alam sekitar fizikal dan kemanusiaan. Salah satu usaha yang telah dilakukan oleh ramai saintis terdahulu adalah untuk mengukur kadar hakisan tanah dengan berlandaskan tiga sebab utama, iaitu (i) untuk menyediakan data inventori hakisan tanah, (ii) untuk menjalankan penyelidikan secara lebih saintifik mengenai hakisan tanah, dan (iii) untuk membangun dan menilai amalan kawalan terhadap proses dan impak hakisan tanah (Toy *et al.* 2002).

Pelbagai teknik telah dikembangkan oleh para saintis dalam kajian hakisan tanah. Zapata (2003) mengkategorikan pelbagai teknik tersebut kepada dua, iaitu teknik permodelan dan peramalan hakisan tanah serta teknik pengukuran hakisan tanah. Teknik permodelan dan peramalan hakisan tanah menjurus kepada perkiraan secara matematik dalam menentukan kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah manakala teknik pengukuran pula lebih menekankan prosedur lapangan dalam menentukan kadar hakisan tanah. Walau bagaimanapun, salah satu teknik yang sering digunakan dalam mengukur dan menganggar kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah melalui gabungan kedua-dua teknik yang dinyatakan di atas adalah teknik plot eksperimen. Teknik ini sudah digunakan berdekad lamanya dan sudah terbukti keberkesannya dalam mengukur dan menganggar kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah. Malah teknik ini juga didapati sangat mudah digunakan dalam pelbagai ekosistem serta mudah juga diaplikasikan dalam makmal.

Impak alam sekitar yang terhasil, sama ada secara langsung dan tidak langsung, yang masih berterusan akibat kejadian hakisan tanah yang berlaku di seluruh dunia menyebabkan teknik mengukur dan menganggar kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah terus berkembang, apatah lagi keberkesanan pelbagai pendekatan semasa dalam pemuliharaan tanah masih berhadapan terutama bagi tanah pertanian. Salah satu tumpuan para penyelidik adalah untuk memahami impak langsung kejadian hujan ekstrem ke atas proses hakisan tanah dan kehilangan tanah.

Sehubungan itu, selain daripada pendekatan plot eksperimen yang bersifat konvensional, teknik radionuklid mula dikembangkan. Artikel ini bertujuan untuk menjelaskan penggunaan teknik radionuklid dalam kajian hakisan tanah sebagai salah satu alternatif yang sesuai dalam mengukur dan menganggar kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah. Radionuklid berilium-7 adalah guguran radioaktif yang paling sesuai digunakan untuk menganggar kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah secara jangka pendek. Oleh yang demikian, artikel ini akan merencanakan teknik berilium-7 dan kegunaan radionuklid berilium-7 sebagai penyuruh alternatif dalam kajian hakisan tanah jangka pendek.

LATAR RINGKAS RADIONUKLID

Radionuklid adalah atom dalam nukleus yang tidak stabil serta terhasil secara semulajadi, dan boleh juga terhasil secara artifisial. Secara semulajadi, radionuklid wujud sebagai radionuklid *primordial*, radionuklid sekunder dan radionuklid kosmogenik. Selain daripada tiga kategori radionuklid semulajadi, seperti yang dinyatakan di atas, terdapat juga radionuklid yang terhasil daripada perkembangan teknologi buatan manusia, juga dikenali sebagai radionuklid artifisial. Radionuklid jenis ini dikatakan wujud dalam ekosistem bumi sejak abad ke-20, dan dapat dikategorikan kepada tiga, iaitu (i) radionuklid yang terhasil kesan daripada kemampuan teknologi sedia ada untuk menjana sumber radiasi semulajadi, seperti pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan tenaga, (ii) kitaran bahan bakar nuklear melalui pemrosesan semula bahan bakar dan menradioaktifkan sisa buangan dan kumbahan daripada loji rawatan, dan (iii) guguran radionuklid daripada ruang atmosfera melalui ujian senjata beratom dan letupan reaktor nuklear (Mishra 2001). Walau bagaimanapun, artikel ini akan hanya memberi fokus kepada radionuklid kosmogenik dan radionuklid buatan manusia sahaja.

Secara ringkas, isotop kosmogenik wujud dan terbentuk dalam ruang atmosfera secara berterusan melalui interaksi antara sinar kosmik dengan nukleus atom. Unsur utama nuklid kosmogenik yang juga merupakan isotop radioaktif adalah berilium, karbon, aluminium, klorin, kalsium dan iodin manakala ^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C dan ^{36}Cl adalah antara nuklid kosmogenik yang terhasil dalam ruang atmosfera bumi. Hayat radionuklid kosmogenik pula berkadar; daripada tempoh-masa saat sehingga jutaan tahun; manakala kadar produktivinya, sama ada di ruang atmosfera bumi mahupun di permukaan bumi amat bergantung pada fluks partikel sinar kosmik. Antara nuklid kosmogenik yang mempunyai hayat yang paling cepat adalah ^7Be , iaitu 53 hari manakala ^{129}I mempunyai hayat yang paling lama, iaitu 1.6×10^7 (Masarik 2010)

Penemuan keupayaan atom sebagai bahan nuklid radioaktif bermula daripada usaha Henry Becquerel pada akhir abad ke-19. Usaha beliau diteruskan oleh Pierre dan Marie Curie dengan kajian ke atas *induced* radionuklid manakala Frederic Joliot dan Irène Curie dengan kajian ke atas radionuklid artifisial (Mishra 2001). Hasil daripada kajian-kajian tersebut, minat ke atas penggunaan radionuklid sebagai penyurih alam sekitar mula berkembang melalui pengukuran radioaktiviti dalam ekosistem yang pelbagai. Kajian oleh Rogowski dan Tamura (1965), Ritchie *et al.* (1974) dan Ritchie dan McHenry (1975) adalah antara usaha terawal menggunakan radionuklid sebagai bahan surihan dalam kajian hakisan dan sedimentasi. Menurut Froehlich dan Masarik (Froehlich 2010), penggunaan isotop sebagai penyurih dalam kajian sesuatu sistem persekitaran sebenarnya lebih banyak didominasi oleh radionuklid artifisial.

PENGGUNAAN RADIONUKLID DALAM KAJIAN HAKISAN TANIH

Radionuklid yang digunakan sebagai penyurih dalam sesuatu kajian alam sekitar turut dikenali sebagai radionuklid persekitaran. Radionuklid persekitaran merujuk pada radionuklid yang kebiasaannya wujud dan tersebar dengan meluas dalam ruang bumi (persekitaran) atau landskap dan tersedia untuk diukur apabila kewujudannya dalam persekitaran berada pada tahap yang relatifnya rendah (Walling 2004).

Radionuklid persekitaran juga turut dikenali sebagai guguran radionuklid (*fallout radionuclides*). Kelebihan guguran radionuklid persekitaran ini sehingga menjadi penyurih yang sangat sesuai dalam kajian hakisan tanah dapat dikaitkan dengan andaian bahawa taburannya dalam kelompok tanah adalah seragam. Guguran radionuklid persekitaran juga sangat mudah dan cepat diserap masuk ke dalam tanah serta terkumpul pada bahagian atas atau hampir permukaan tanah menjadikannya penyurih yang sesuai untuk mengesan

pemindahan dan pemendapan kumin tanah dan sedimen. Sehubungan itu, pemerhatian ke atas taburan semula radionuklid pada bahagian atas, hampir permukaan dan dalam tanah yang berlaku selepas kejadian hakisan tanah menjadi asas penting dalam penggunaan radionuklid sebagai penyurih untuk menentukan kadar dan pola pemindahan sedimen serta magnitud bajet sedimen dalam ruang lingkup sesuatu landskap.

Perkara penting ketika menggunakan sesuatu radionuklid persekitaran sebagai penyurih dalam kajian hakisan tanah adalah berkait dengan nilai aktiviti sesuatu guguran yang diperolehi di tapak inventori berbanding dengan nilai aktiviti di tapak rujukan. Seharusnya purata nilai aktiviti sesuatu guguran radionuklid yang diperolehi di tapak rujukan adalah lebih tinggi daripada purata nilai aktiviti yang diperolehi di tapak inventori. Sekiranya demikian maka terbukti bahawa proses hakisan tanah telah berlaku, dan jika situasi sebaliknya pula; menunjukkan kejadian proses pemendapan.

Namun, adalah lumrah bahawa purata nilai aktiviti guguran radionuklid yang diperolehi di tapak inventori adalah lebih rendah berbanding purata nilai aktiviti di tapak rujukan. Ini kerana sampel tanah yang diambil di tapak inventori seharusnya merupakan sampel tanah daripada tapak yang mengalami proses hakisan tanah manakala sampel tanah daripada tapak rujukan diambil di tapak yang mempunyai perlindungan permukaan tanah seperti dilindungi oleh tanaman rumput kekal atau kanopi hutan. Apa yang lebih penting sebenarnya adalah nilai relatif antara kedua-dua tapak inventori dan tapak rujukan yang dinyatakan (dalam bentuk peratus) di mana perbezaan nilai yang kecil/besar menjelaskan magnitud proses hakisan tanah di tapak inventori.

LATAR BERILIUUM-7

Berilium-7 (^7Be) adalah radionuklid kosmogenik yang terhasil di bahagian stratosfera akibat daripada *spallation* nitrogen dan oksigen serta mempunyai hayat yang pendek, iaitu hanya 53 hari (Bonniwell *et al.* 1999). Penghasilan berilium-7 dalam ruang atmosfera juga adalah berbeza-beza secara ruangan dan masa bergantung pada kedudukan latitud dan longitud sesuatu kawasan. Lal *et al.* (1958) menyatakan penghasilan berilium-7 adalah paling banyak di kawasan berlatitud tinggi dan secara relatifnya berkadaran malar di sepanjang kawasan berlatitud sama. Bros *et al.* (1991) pula melaporkan bahawa walaupun penghasilan berilium-7 lebih banyak di kawasan stratosfera atas tetapi jumlahnya juga masih signifikan di bahagian troposfera atas dan makin berkurang apabila menghampiri troposfera bawah.

Menurut Wallbrink dan Murray (1996), guguran berilium-7 daripada air hujan yang sampai ke permukaan tanah, secara pantas akan diserap dan disebatikan dengan kumin-kumin tanah di permukaan tanah. Situasi tersebut telah menjadikan guguran berilium-7 sebagai bahan surihan dalam kajian kedinamikan proses hakisan tanah yang berkait dengan taburan semula tanah melalui proses hakisan dan proses pemendapan yang berlaku dalam tempoh jangka pendek, iaitu 53 hari. Tambahan pula, banyak kajian telah membuktikan kesignifikanan guguran berilium-7 sebagai penyurih proses hakisan tanah seperti kajian oleh Wallbrink dan Murray (1996), Blake *et al.* 1999, Schuller *et al.* (2006) dan Sepulveda *et al.* (2008). Secara umumnya, mereka melaporkan konsentrasi aktiviti berilium-7 adalah tinggi dalam profil tanah pada kedalaman sehingga 5 mm dan aktivitinya masih dapat dikesan sehingga pada kedalaman 10 mm. Keadaan ini menjadikan berilium-7 sebagai bahan surihan yang sangat sesuai dalam memahami proses hakisan tanah dan mobiliti sedimen jangka pendek yang disebabkan oleh kejadian hujan semasa.

PENGGUNAAN BERILIUUM-7 DALAM KAJIAN HAKISAN TANAH

Penggunaan berilium-7 sebagai penyurih dalam kajian hakisan tanah hanya bermula pada akhir 1990-an (Mabit *et al.* 2008) dan kebanyakannya hanya menggunakan plot eksperimen bersaiz kecil dalam memahami impak kejadian hujan semasa ke atas proses hakisan-pemendapan tanah. Beberapa kajian awal oleh Walling dan Woodward (1992), Wallbrink dan

Murray (1996), Blake *et al.* 1999 dan Bonniwell *et al.* 1999; dan kajian selanjutnya sekitar tahun 2000-an dengan meluaskan saiz kawasan kajian sehingga ke skala ladang yang lebih besar seperti kajian oleh Wilson *et al.* (2003), Sepulveda *et al.* (2008), Walling *et al.* (2009) serta Mokhtar dan Walling (2010), membuktikan wujud hubungan yang signifikan antara tanah dan kehilangan berilium-7 dalam tanah. Malah Wilson *et al.* (2003) serta Mokhtar dan Walling (2010) merumuskan bahawa kadar hakisan tanah jangka pendek yang didokumentasi menggunakan radionuklid berilium-7 adalah konsisten dengan kadar hakisan tanah jangka panjang yang didokumentasi menggunakan radionuklid cesium-137.

a) Andaian dan pertimbangan menggunakan teknik berilium-7

Penggunaan teknik berilium-7 dalam mendokumentasi kadar dan pola kehilangan tanah jangka pendek harus dilakukan dengan beberapa andaian terlebih dahulu. Walling *et al.* 1999 dan Schuller *et al.* (2006) menegaskan beberapa andaian utama bagi tujuan tersebut. Pertama adalah sebarang guguran berilium-7 sedia ada dalam kelompok tanah sebelum kajian hakisan tanah dilakukan harus diandaikan bertaburan secara seragam di dalam lingkungan kawasan kajian. Andaian ini penting kerana sebarang aktiviti berilium-7 dalam tanah yang telah ditaburkan semula tanah melalui kejadian hujan sebelum kajian hakisan tanah dilakukan akan hilang melalui pereputan radioaktif. Situasi begini akan menyediakan suatu tempoh yang mencukupi bagi memahami aktiviti berilium-7 dalam tanah bagi sesuatu siri hujan yang menyebabkan kejadian hakisan tanah.

Kedua adalah pemendapan guguran berilium-7 ketika proses hakisan tanah terjadi juga diandaikan bertaburan secara seragam dalam lingkungan kelompok tanah yang dikaji. Ini bermakna taburan keruangan hujan yang turun dan guguran berilium-7 juga diandaikan seragam. Andaian ini penting terutama jika kajian hakisan tanah dilakukan bagi mewakili suatu kawasan kajian yang bersaiz kecil (Sepulveda *et al.* 2008). Andaian seterusnya adalah guguran berilium-7 yang dimendapkan dalam kelompok tanah ketika kejadian hakisan tanah berlaku, secara pantasnya disebatikan dengan kumin-kumin tanah. Justeru itu, guguran berilium-7 tersebut akan hanya boleh ditaburkan semula di dalam kelompok tanah melalui mobilisasi dan penaburan semula kumin-kumin tanah sahaja (Blake *et al.* 1999).

Beberapa andaian tambahan bagi penggunaan guguran berilium-7 dalam kajian hakisan tanah, seperti (i) hubungan antara kepadatan aktiviti berilium-7 dan kedalaman jisim bagi tapak rujukan seharusnya dapat mewakili keseluruhan kawasan persampelan tanah, (ii) ciri tanah, keadaan permukaan tanah dan ciri hidrologi permukaan tanah di tapak rujukan adalah sama dengan ciri dan keadaan di tapak inventori, (iii) saiz kumin daripada kelompok tanah yang disampel dengan saiz partikel yang dimobilisasikan melalui proses hakisan dan pemendapan haruslah diandaikan sama. Penjelasan lanjut mengenai andaian di atas boleh diperolehi daripada Sepulveda *et al.* (2008).

Persampelan tanah juga harus dilakukan secepat mungkin selepas sesuatu kejadian hujan ekstrim dan signifikan dalam konteks kemungkinan menyumbang kepada konsentrasi guguran berilium-7 yang tinggi ke permukaan bumi. Ini penting kerana konsentrasi berilium-7 yang tinggi di dalam air hujan dijangka akan mempengaruhi konsentrasi aktiviti berilium-7 di dalam profil tanah dan penaburan semula gugurannya di permukaan tanah juga diandaikan lebih seragam. Walaupun andaian ini boleh diketepikan, sebagaimana yang dilaporkan oleh Blake *et al.* 1999 bahawa tiada hubungan yang signifikan antara jumlah hujan dengan konsentrasi berilium-7, namun beliau tidak juga menafikan bahawa ciri-ciri meteorologi kewilayahan tetap penting dalam mempengaruhi konsentrasi berilium-7 setempat.

Mabit *et al.* (2008) pula mengemukakan beberapa pertimbangan yang perlu dipertimbangkan ketika menggunakan teknik berilium-7. Sebahagian daripada pertimbangan tersebut, secara ringkas, adalah seperti berikut: (i) teknik ini hanya sesuai untuk permukaan tanah yang terdedah tanpa sebarang litupan tumbuhan, (ii) pengumpulan guguran berilium-7

adalah di bahagian hampir permukaan tanah maka persampelan tanah mestilah cetek, (iii) penggunaan guguran berilium-7 hanya untuk menganggar kadar hakisan tanah jangka pendek, dan (iv) informasi fluk pemendapan berilium-7 mungkin diperlukan terutama aktiviti berilium-7 di dalam air hujan.

Penggunaan teknik berilium-7 juga hanya sesuai digunakan bagi permukaan tanah yang terdedah tanpa sebarang perlindungan permukaan, samada oleh tumbuhan tutup bumi mahupun sungkupan. Ini membolehkan sampel tanah terhakis diambil pada kedalaman yang cetek (sekitar 3-5 cm sahaja). Semua sampel tanah dikeringkan dan diayak di mana kumin tanah bersaiz 20 μ m dimasukkan ke dalam bikar (bikar marineli atau botol sampel) dan seterusnya diletak di dalam mesin spektrometer gamma tahap rendah beresolusi tinggi bagi mengesan aktiviti berilium-7 di dalam sampel tanah. Hanya sampel tanah bersaiz 20 μ m sahaja yang boleh digunakan untuk dikesan aktiviti berilium-7. Sampel tanah di dalam mesin pengesan spektrometer harus dibiarkan sekurang-kurangnya selama lapan jam untuk memastikan aktiviti berilium-7 dalam sampel tanah dapat dikesan sepenuhnya pada kuasa 475 keV. Berdasarkan nilai aktiviti berilium-7 yang diperolehi daripada mesin pengesan spektrometer, model taburan profil (*profile distribution model*) sesuai digunakan bagi memperolehi anggaran kadar kasar dan kadar bersih hakisan tanah serta kadar hasilan sedimen.

Berdasarkan beberapa andaian dan pertimbangan yang dinyatakan di atas, maka penggunaan guguran berilium-7 sebagai penyurih dalam kajian hakisan tanah dan penaburan semula tanah pada akhirnya amat bergantung juga kepada magnitud hujan dan jenis mineral tanah. Ini kerana intensiti dan tempoh hujan yang berbeza serta kejadiannya pada musim yang berbeza; serta kandungan liat yang tinggi akan mempengaruhi pola aktiviti berilium-7 dalam tanah dan seterusnya boleh mempengaruhi anggaran kadar kehilangan tanah yang diukur.

b) Dapatan utama teknik berilium-7 berkait dengan kajian hakisan tanah

Bahagian ini akan melaporkan secara ringkas dapatan utama daripada beberapa kajian yang telah dilakukan di seluruh dunia melalui teknik berilium-7. Salah satu dapatan penting yang diperolehi oleh para pengkaji melalui teknik ini adalah taburan aktiviti berilium-7 dalam profil tanah bagi kedua-dua tapak rujukan dan tapak inventori. Kebanyakan pengkaji melaporkan konsentrasi aktiviti berilium-7 boleh mencapai sehingga kedalaman 10 cm daripada permukaan tanah tetapi konsentrasinya adalah paling tinggi bagi kedalaman sehingga 3 cm. Walling dan Woodward (1992), Wallbrink dan Murray (1993), Blake *et al.* 1999, Walling *et al.* 1999, Wilson *et al.* (2003), Schuller *et al.* (2006), Sepulveda *et al.* (2008) dan Walling *et al.* (2009) melaporkan taburan vertikal berilium-7 dalam tanah bagi tapak yang stabil tertumpu di beberapa millimeter daripada permukaan tanah. Mereka turut melaporkan pengurangan konsentrasi aktiviti berilium-7 berlaku mengikut kedalaman secara eksponen. Kesepakatan mengenai aktiviti berilium-7 yang berkurang mengikut kedalaman tanah secara eksponen dijelaskan secara rumus seperti berikut:

$$C(x) = C(0)(\exp)(-x/h_0) \quad (1)$$

dengan $C(x)$ adalah aktiviti berilium-7 dalam unit (Bq m⁻²), $C(0)$ adalah kepadatan aktiviti jisim *initial* permukaan tanah dengan nilai $x = 0$, dan h_0 adalah koefisien yang menjelaskan bentuk profil tanah (kg m⁻²), juga dikenali sebagai *relaxation mass depth*.

Nilai h_0 menjadi ukuran kedalaman penembusan berilium-7 ke dalam profil tanah di mana semakin tinggi nilai h_0 maka diandaikan juga kadar penembusan guguran berilium-7 adalah semakin jauh ke dalam profil tanah. Ini bermakna tahap konsentrasi aktiviti berilium-7 di dalam profil tanah diandaikan hampir sama dengan kadar penembusan berilium-7 ke dalam profil tanah. Sebagai contoh, Walling *et al.* 1999 melaporkan nilai h_0 pada 5.4 kg m⁻² bagi

kajian di Ladang Higher Walton, Devon, UK; Walling *et al.* (2009) melaporkan nilai h_0 bagi kajian mereka di Valdivia, Selatan Chile, Chile sebanyak 4.0 kg m^{-2} ; nilai h_0 3.4 kg m^{-2} pula dilaporkan oleh Sepulveda *et al.* (2008) berdasarkan kajian di Pergunungan Pantai bahagian tengah, Selatan Chile, Chile; dan hanya 2.14 kg m^{-2} sahaja dilaporkan oleh Schuller *et al.* (2006) berdasarkan kajian di Pusat Penyelidikan Hutan, Universidad Austral de Chile, Chile. Berdasarkan beberapa contoh di atas, adalah jelas bahawa aktiviti berilium-7 tertumpu pada 5 cm di dalam profil tanah tetapi konsentrasinya lebih aktif pada kedalaman sehingga 3 cm.

Penggunaan teknik berilium-7 memerlukan perbandingan kadar kehilangan tanah mengikut kedalaman jisim antara sampel teras tanah yang diambil di tapak rujukan dengan sampel teras tanah yang diambil di tapak inventori. Prosedur ini telah dijelaskan di perenggan akhir bahagian penggunaan radionuklid dalam kajian hakisan tanah. Persampelan tanah di tapak rujukan harus dilakukan di tapak yang tidak berlaku hakisan tanah, sekurang-kurangnya melebihi tempoh hayat pendek berilium-7, iaitu 53 hari, sebelum persampelan tanah dilakukan. Manakala persampelan tanah di tapak inventori harus dilakukan di tapak yang jelas menunjukkan bukti berlaku proses hakisan tanah, seperti melalui kewujudan galir dan permukaan tanah harus terdedah secara terus kepada agen cuaca. Sehubungan dengan ini, pelbagai keputusan kajian yang diperolehi jelas menunjukkan pengurangan aktiviti berilium-7 di tapak inventori berbanding dengan tapak rujukan. Sebagai contoh, Blake *et al.* 1999 melaporkan pengurangan aktiviti berilium-7 di tapak inventori sebanyak 29 peratus berbanding aktiviti berilium-7 di tapak rujukan sebanyak 512 Bq m^{-2} . Mokhtar dan Walling (2010) pula melaporkan pengurangan aktiviti berilium-7 di tapak ladang jagung yang terdedah sebanyak 42.1 peratus berbanding nilai aktiviti berilium-7 di tapak rujukan sebanyak 259 Bq m^{-2} .

Walaupun dinyatakan di atas bahawa perbezaan nilai aktiviti berilium-7 antara tapak rujukan dan tapak inventori seharusnya menunjukkan berlaku proses hakisan tanah, namun beberapa kajian lain membuktikan keadaan sebaliknya boleh berlaku. Sebagai contoh, Walling *et al.* 1999 melaporkan berlaku proses pemendapan sedimen di tapak inventori (berdasarkan sampel tanah yang diambil di bahagian kaki cerun) sebanyak 50.9 peratus berbanding nilai aktiviti berilium-7 di tapak rujukan, iaitu sebanyak 550 Bq m^{-2} .

Taburan semula tanah yang diperolehi daripada model taburan profil memberi gambaran impak sesuatu kejadian hujan semasa ke atas proses hakisan-pemendapan tanah yang berlaku di sepanjang permukaan cerun. Impak tersebut dapat diterjemahkan kepada nilai anggaran kadar kehilangan tanah dengan mengambil kira nilai anggaran kadar hakisan kasar, kadar hakisan bersih dan kadar hasilan sedimen yang mewakili sesuatu tapak inventori. Dalam hal ini, para pengkaji seperti Walling dan Woodward (1992), Wallbrink dan Murray (1993), Blake *et al.* 1999, Walling *et al.* 1999, Wilson *et al.* (2003), Schuller *et al.* (2006), Sepulveda *et al.* (2008) dan Walling *et al.* (2009) dan Mokhtar dan Walling (2010) sepakat bahawa nilai anggaran kadar hakisan kasar, kadar hakisan bersih dan kadar hasilan sedimen yang diperolehi bagi sesuatu kes kajian hanya mewakili impak hujan semasa sahaja. Pengaruh kejadian hujan yang berlaku sebelum persampelan tanah dilakukan pada akhirnya harus diambil-kira, terutama sekiranya kejadian hujan berlaku dalam tempoh 53 hari sebelum persampelan tanah. Ini kerana aktiviti berilium-7 kemungkinan masih aktif di dalam profil tanah selama tempoh tersebut bersesuaian dengan tempoh hayat guguran berilium-7 di dalam profil tanah.

Nilai hasilan sedimen (*Sediment Delivery Ratio-SDR*) pula memberi gambaran pemindahan sedimen daripada tapak inventori yang telah mengalami proses hakisan tanah. Nilai hasilan sedimen yang tinggi memberi petunjuk bahawa permukaan tanah mengalami impak yang serius daripada kejadian hujan semasa, dan sebaliknya. Sebagai contoh, Walling *et al.* 1999 dan Mokhtar dan Walling (2010) melaporkan nilai SDR yang sangat tinggi, masing-masing sebanyak 80 peratus dan 90 peratus, bagi dua buah ladang berasingan di Devon dan telah dituai hasilnya serta ditinggalkan terdedah secara langsung kepada agen

cuaca. Dapatan ini memberi gambaran bahawa proses hakisan-pemendapan yang berlaku di sesuatu kawasan dapat juga diterjemahkan ke dalam bentuk kehilangan tanah melalui teknik berilium-7.

Schuller *et al.* (2006) menjalankan kajian untuk membandingkan proses hakisan tanah menggunakan teknik radionuklid berilium-7 dengan teknik konvensional pin hakisan. Dapatan beliau menunjukkan tidak wujud perbezaan yang signifikan antara nilai purata hakisan dan nilai purata pemendapan bagi kedua-dua teknik. Beliau melaporkan nilai purata hakisan dan nilai purata pemendapan yang diperolehi daripada teknik konvensional pin hakisan adalah, masing-masing 1.14 ± 0.23 dan 1.02 ± 0.20 kg m⁻²; sedangkan melalui teknik radionuklid berilium-7, nilai yang diperolehi adalah, masing-masing 0.92 ± 0.18 dan 0.72 ± 0.14 kg m⁻² bagi kedua-dua perkara yang sama.

Berdasarkan huraian di atas, adalah jelas bahawa melalui teknik berilium-7 nilai anggaran kadar hakisan tanah dan kehilangan tanah dapat ditentukan menggunakan model taburan profil. Aktiviti berilium-7 sangat aktif hanya pada kedalaman beberapa cm sahaja daripada permukaan tanah. Oleh itu persampelan tanah harus dilakukan di bahagian atas profil tanah, kecuali bagi kajian yang bersifat untuk mendokumentasi aktiviti berilium-7 bagi sesuatu ekosistem yang belum diuji. Persampelan tanah pula harus dilakukan di dua ekosistem berbeza, iaitu tapak rujukan tanpa bukti kejadian hakisan tanah dan tapak inventori yang jelas menunjukkan bukti kejadian hakisan tanah. Persampelan juga harus dilakukan selepas kejadian hujan ekstrim dengan andaian aktiviti berilium-7 berkonsentrasi tinggi dan bersifat semasa. Nilai anggaran kadar kehilangan tanah yang diperolehi daripada model taburan profil boleh dijadikan asas untuk memahami keberkesanan kejadian hujan ekstrim ke atas proses hakisan-pemendapan di sesuatu kawasan.

KESIMPULAN

Artikel ini telah menjelaskan teknik radionuklid berilium-7 sebagai penyurih yang berkesan untuk menentukan nilai anggaran hakisan tanah. Penggunaan guguran berilium-7 dalam kajian hakisan tanah walau bagaimanapun harus dilaksanakan dengan andaian-andaian tertentu dalam konteks penaburan semula tanah di dalam profil tanah dan lingkungan kawasan kajian. Dapatan daripada pelbagai kajian yang telah dilakukan di seluruh dunia membuktikan keberkesanan radionuklid berilium-7 dan teknik pengukuran melalui model taburan profil dalam menentukan nilai anggaran kehilangan tanah. Adalah dipercayai bahawa radionuklid berilium-7 akan terus mendapat perhatian kalangan saintis yang menjurus dalam kajian hakisan memandangkan teknik berilium-7 telah terbukti efektif untuk menentukan kadar hakisan tanah jangka pendek.

PENGHARGAAN

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

RUJUKAN

- Blake, W.H., Walling, D.E. & He, Q. 1999. Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigation. *Applied Radiation and Isotopes*. 51: 599-605.
- Bonniwell, E.C., Matisoff, G. & Whiting, P.J. 1999. Determining the times and distances of particle transit in a mountain stream using fallout radionuclides. *Geomorphology*. 27: 75-92.

- Brost, R.A., Feicher, J. & Heimann, M. 1991. Three-dimensional simulation of ^7Be in a global climate model. *Journal of Geophysical Research*. 96(12): 423-445.
- FAO. (2003). <http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx#ancor>. (27 Julai 2004).
- Froehlich, K. & Masarik, J. 2010. Radionuclides as tracers and timers of processes in the continental environment-Basic concepts and methodologies. Dlm. Froehlich, K. (Ed.). *Environmental Radionuclides: Tracers and Timers of Terrestrial Processes*. Amsterdam, Elsevier. Hlm. 27-50.
- Gale, S.J. & Haworth, R.J. 2005. Catchment-wide soil loss from pre-agricultural times to the present: Transport- and supply-limitation of erosion. *Geomorphology*. 68: 314-333.
- Internet_1. (15 Jun 2011). http://soilerosion.net/doc/models_menu.html.
- Lal, D., Malhorta, P.K. & 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.
- Larsen, M., Pejrup, M. & Edelvang, K. 1996. A fine-grained sediment budget for a small tidal area, Königshafen, Sylt, Germany. *Danish Journal of Geography*. 96: 1-10.
- Mabit, L., Benmansour, M. & Walling, D.E. 2008. Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and ^7Be for assessing soil erosion and sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity*. 99: 1799-1807.
- Mabit, L., Klik, A. & Toloza, A. 2010. Radioisotopic measurements (^{137}Cs and ^{210}Pb) to assess erosion and sedimentation processes: Case study in Austria. Dlm. Zdruli, P., Pagliai, M., Kapur, S. & Faz Cano, A. (Eds.). *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*. Dordrecht, Springer. Hlm. 401-412.
- Matisoff, G., Bonniwell, E.C. & Whiting, P.J. 2002. Soil erosion and sediment sources in an Ohio watershed using beryllium-7, cesium-137 and lead-210. *Journal of Environmental Quality*. 31: 54-61.
- Masarik, J. 2010. Origin and distribution of radionuclides in the continental environment-cosmogenic radionuclides. Dlm. Froehlich, K. (Ed.). *Environmental Radionuclides: Tracers and Timers of Terrestrial Processes*, Amsterdam, Elsevier.
- Mishra, U.C. 2001. Environmental radioactivity research-expectations in the new millennium. *Journal of Environmental Radioactivity*. 57: 1-5.
- Mokhtar, J. & Walling, D.E. 2010. Assessing the impact of fodder maize cultivation on soil erosion in the UK. Dlm. Zdruli, P., Pagliai, M., Kapur, S. & Faz Cano, A. (Eds.). *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*. Dordrecht, Springer. Hlm. 581-588.
- Pimentel, D. & Kounang, N. 1998. Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*. 1: 416-426.
- Ritchie, J.C. & McHenry. 1975. Fallout Cs-137: a tool on conservation research. *Journal of Soil and Water Conservation*. 30: 283-286.

- Ritchie, J.C., McHenry, J.R. & Angela, C.G. 1974. Fallout ^{137}Cs in the soils and sediments of three small watersheds. *Ecology*. 55(4): 887-890.
- Ritchie, J.C., Spraberry, J.A., McHenry, J.R. 1974. Estimating soil erosion from the redistribution of ^{137}Cs . *Soil Science Society of America Proceedings*. 38: 137-139.
- Rogowski, A.S. & Tamura, T. 1965. Movement of ^{137}Cs by runoff, erosion and infiltration on the alluvial captina silt loam. *Health Physics*. 11: 1333-1340.
- Schuller, P., Iroumé, A., Walling, D.E., Mancilla, H.B., Castillo, A. & Trumper, R.E. 2006. Use of beryllium-7 to document soil redistribution following forest harvest operations. *Journal of Environmental Quality*. 35: 1756-1763.
- Sepulveda, A., Schuller, P., Walling, D.E. & 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.
- Smoak, J.M. & Patchineelam, S.R. 1999. Sediment mixing and accumulation in a mangrove ecosystem: evidence from ^{210}Pb , ^{234}Th and ^7Be . *Mangrove and Salt Marshes*. 3: 17-27.
- Theocharopoulos, S.P., Florou, H., Walling, D.E., Kalantzakos, H., Chris, M., Tountas, P. & Nikolaou, T. 2003. Soil erosion and deposition rates in a cultivated catchment area in central Greece, estimated using the ^{137}Cs technique. *Soil & Tillage Research*. 69: 153-162.
- Toy, T.J., Foster, G.R. & Renard, K.G. (2002). *Soil erosion: Processes, prediction, measurement and control*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Wallbrink, P.J. & Murray, A.S. (1993). Use of fallout radionuclides as indicators of erosion processes. *Hydrological Processes*. 7: 297-304.
- Wallbrink, P.J. & Murray, A.S. (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.
- Walling, D.E. (2004). Using environmental radionuclides to trace sediment mobilization and delivery in river basins as an aid to catchment management. *Proc. of the Ninth International Symposium on River Sedimentation*. Yichang, China. (October 18-21): 121-134.
- Walling, D.E., Collins, A.L. & Sickingabula, H.M. (2003). Using unsupported lead-210 measurements to estimate rates of soil mobilization and redistribution by water erosion in a small Zambian catchment. *Geomorphology*. 52: 193-213.
- Walling, D.E., He, Q. & Blake, W. 1999. Use of ^7Be and ^{137}Cs measurements to document short- and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land. *Water Resources Research*. 35: 3865-3874.
- Walling, D.E., Schuller, P., Zhang, Y. & Iroumé, A. (2009). Extending the timescale for using beryllium-7 measurements to document soil redistribution by erosion. *Water Resources Research*. 45: W02418, doi:10.1029/2008WR007143.

- Walling, D.E. & Woodward, J.C. (1992). Use of radiometric fingerprints to derive information on suspended sediment sources. Dlm. Bogen, J., Walling, D.E. & Day, T.J. (Eds.). *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins*. IAHS Publ. 210: 153-164.
- Weibe, K.D. (2003). Land degradation and agricultural productivity. Dlm. K.D. Weibe. *Linking land quality, agricultural productivity and food security*. Agricultural economic report No. 83, Resource Economic Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Hlm. 28-34.
- Wilson, C.G., Matisoff, G. & Whiting, P.J. (2003). Short-term erosion rates from a ⁷Be inventory balance. *Earth Surface Processes and Landforms*. 28: 967-977.
- Wishmeier, W.H. & Smith, D.D. (1965). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. Handbook 282. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture.
- Zapata, F. (2003). The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. *Soil & Tillage Research*. 69: 3-13.

Mokhtar Jaafar

Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan dan Persekitaran
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan
Universiti Kebangsaan Malaysia
E-mail: mokhtar@eoc.ukm.my

Sharifah Mastura Syed Abdullah

Institut Perubahan Iklim
Universiti Kebangsaan Malaysia
E-mail: sharifah@eoc.ukm.my

Hafizi Mat Salleh

Pelajar Sarjana Falsafah (Geografi)
Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan dan Persekitaran
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan
Universiti Kebangsaan Malaysia

Muhd Asrul Affendee Sudin

Pelajar Sarjana Falsafah (Geografi)
Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan dan Persekitaran
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan
Universiti Kebangsaan Malaysia