



Hakisan tanah dan masalah sedimen di Alur Ilmu, UKM

Mokhtar Jaafar, Hafizi Mat Salleh

Pusat Penyelidikan Kelestarian Sosial, Persekitaran dan Pembangunan, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Malaysia

Correspondence: Mokhtar Jaafar (*e-mail*: m_jaafar@ukm.edu.my)

Abstrak

Masalah bahan mendak terutama sedimen terampai adalah salah satu daripada punca pencemaran yang berlaku dalam aliran Alur Ilmu, UKM. Salah satu penyumbang kepada muatan sedimen terampai dalam Alur Ilmu adalah proses hakisan tanah. Sehubungan itu kajian dilakukan bagi menganggar hasilan sedimen dalam aliran Alur Ilmu melalui proses hakisan tanah jangka pendek di bahagian hulu lembangan Alur Ilmu. Teknik radionuklid berilium-7 digunakan bagi menganggar kadar hakisan tanah melalui model profil taburan tanah. Manakala penjana sedimen terampai ditentukan berdasarkan data muatan sedimen terampai dan hakisan tanah berdasarkan peristiwa hujan semasa. Hasil kajian mendapati kadar anggaran bersih hakisan tanah adalah 42.1 t ha^{-1} dan nisbah hasilan sedimen adalah 0.683 peratus. Ini menghasilkan sekurang-kurangnya 36.23 t km^{-2} sedimen terampai daripada sesuatu peristiwa hujan semasa dan proses hakisan tanah. Jumlah hasilan sedimen terampai ini adalah tinggi bagi lembangan Alur Ilmu yang hanya bersaiz kecil. Sehubungan itu, usaha mitigasi harus pertimbangan sewajarnya pada kejadian proses hakisan tanah yang berlaku di bahagian hulu lembangan Alur Ilmu. Ini termasuk memulihara cerun musnah akibat daripada hakisan galur, dan menambah kepadatan tumbuhan di permukaan landskap sedia ada.

Katakunci: Alur Ilmu, berilium-7, Geografi, hakisan tanah, radionuklid, sedimen

Soil erosion and sediment problems in the Alur Ilmu, UKM

Abstract

Suspended sediment problem is one of the pollution sources that occurs in the Alur Ilmu, UKM. Among the contributors to the suspended sediment load in the Alur Ilmu is the soil erosion process. Therefore the study was conducted to estimate the sediment yield in the Alur Ilmu flows through the short-term soil erosion process at the upperstream of Alur Ilmu basin. Radionuclide technique of beryllium-7 was used in estimating the rate of soil erosion through the model of soil distribution profile. Meanwhile the generation of suspended sediment was determined based on the suspended sediment load and soil erosion through the initial rainfall event. The findings show that the estimate rate of net soil erosion is 42.1 t ha^{-1} and the ratio of sediment yield is 0.683. This produces at least 36.23 t km^{-2} of suspended sediment from the initial rainfall event and soil erosion process. The total of this sediment yield is considered high for the small area of the Alur Ilmu basin. Therefore mitigation efforts should be consider the occurrence of soil erosion process at the upperstream of Alur Ilmu basin. This includes conserving damaged slopes from gully erosion, and increased the density of vegetation on the existing landscape surface.

Keywords: Alur Ilmu, beryllium-7, Geography, soil erosion, , radionuclide, sediment.

Pengenalan

Hakisan tanah dan masalah sedimen dalam sistem sungai di Malaysia masih merupakan salah satu daripada masalah alam sekitar yang berterusan. Berdasarkan pengalaman Malaysia, kedua-dua masalah alam sekitar ini sangat serius sekitar tahun 1970-an dan 1980-an. Ini kesan daripada penerokaan hutan untuk pembangunan pertanian komersial iaitu penanaman getah dan kelapa sawit. Namun, sekitar tahun 1990-an sehingga kini, hakisan tanah dan masalah sedimen banyak terkait dengan aktiviti perkembangan bandar dan infrastruktur seperti pembangunan perumahan, bandar baru dan jaringan jalan darat. Aktiviti pembangunan seperti ini yang melibatkan perubahan litupan bumi dan guna tanah telah menggalakkan pendedahan permukaan tanah kepada agen geomorfologi terutama air hujan. Keamatan hujan yang tinggi di Malaysia amat mempengaruhi pergerakan air larian permukaan di permukaan tanah yang terdedah, dan situasi ini berpotensi tinggi menyebabkan proses hakisan tanah dan mobiliti kumin tanah terhakis disalurkan memasuki sistem sungai berhampiran. Impak daripada situasi ini adalah meningkatkan kadar kekeruhan air dan pertambahan sedimen serta berpotensi menimbulkan masalah alam sekitar lain seperti pemendapan berlebihan dalam aliran sungai sehingga berlaku banjir kilat.

Dalam konteks Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), sekitar tahun 2000-an menunjukkan telah berlaku perubahan guna tanah di bahagian hulu lembangan Alur Ilmu. Perubahan ini berkait dengan penerokaan sebahagian hutan sekunder di bahagian tersebut bagi pembangunan bangunan baru Fakulti Sains dan Teknologi (FST). Sebidang tanah terbiar dengan kepadatan tumbuhan yang rendah telah diwujudkan di bahagian belakang bangunan baru tersebut. Bahagian ini merupakan bahagian utama hulu Alur Ilmu yang menjadi punca kemasukan kumin tanah terhakis ke dalam aliran Alur Ilmu. Kemasukan kumin tanah terhakis ke dalam aliran Alur Ilmu adalah terkait dengan proses hakisan galir dan hakisan galur yang berlaku di bahagian tersebut. Kedua-dua proses hakisan tanah ini berpotensi menambah kadar sedimen terampai di dalam Alur Ilmu. Mohd. Ekhwan et al. (2009) melaporkan nilai purata kepekatan sedimen terampai dalam Alur Ilmu sebanyak 22.35 mg l⁻¹ dengan nilai purata penghasilan muatan sedimen terampai adalah 89.15 kg/hari. Kajian beliau juga menunjukkan hubungan yang sangat signifikan antara kadar luahan dan kepekatan sedimen terampai dengan nilai r^2 adalah 0.91. Haslinur et al. (2012) pula melaporkan kepekatan pepejal terampai dalam Alur Ilmu bukan semata-mata kerana hujan yang lebat dan luahan yang tinggi tetapi turut berlaku pada luar musim hujan. Ini berkait dengan kerja pembersihan Alur Ilmu iaitu pembuangan lumpur yang termendap di sepanjang Alur Ilmu. Nurul Afina et al. (2015) turut melaporkan bahawa kepekatan kekeruhan dan pepejal terampai yang tinggi dalam Alur Ilmu bukan sekadar disebabkan oleh hakisan tanah dan pemindahan sedimen oleh air larian tetapi juga berkait dengan Teres Eko Niaga yang menambah kepekatan kekeruhan pada luar peristiwa hujan.

Bagi memahami proses hakisan tanah pula, pelbagai teknik telah dikembangkan untuk menganggar kadar hakisan tanah dan pemendapan yang berlaku. Teknik konvensional yang masih dipraktikkan di kebanyakan kawasan pertanian dan kawasan terdedah adalah teknik plot eksperimen. Teknik ini memerlukan kos yang agak mahal serta pemantauan berkala yang sistematik bagi memerangkap sedimen. Teknik plot eksperimen ini yang bersifat empirikal telah ditambah-baik hingga muncul teknik yang lebih bersifat permodelan. Model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) adalah antara model terawal dan masih kerap digunakan pada masa kini dalam menganggar kadar hakisan tanah dan sedimen. Model ini telah banyak ditambah-baik dan terhasil beberapa model baru seperti RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) dan MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*). Lain-lain model matematik yang terhasil adalah seperti CREAMS (*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*), EGEM (*Ephemeral Gully Erosion Model*) dan WEPP (*Water Erosion Prediction Project*). Setiap model ini mempunyai kelebihan tersendiri mengikut kesesuaian geografi kawasan yang dikaji. Namun begitu, menurut Zapata et al. (2002) teknik permodelan tidak dapat memberikan data yang boleh digunakan untuk memahami pola keruangan proses hakisan tanah. Model-model sedia ada hanya mampu menghasilkan data mengenai kadar hakisan tanah sahaja. Sehubungan itu, teknik radionuklid telah dikembangkan bagi menyokong kajian hakisan tanah dan proses pemendapan seperti teknik radionuklid ¹³⁷Cs, ⁷Be dan ²¹⁰Pb. Ini kerana teknik radionuklid terbukti berupaya untuk

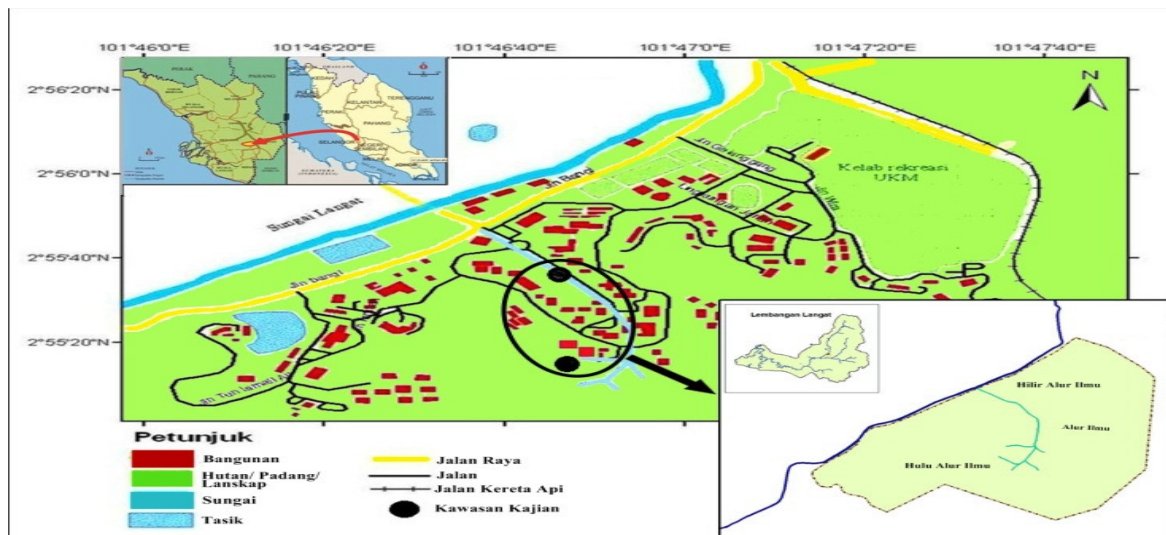
memberi gambaran menyeluruh tentang pola keruangan proses hakisan tanah sebagaimana dibuktikan oleh Sepulveda et al. (2008), Mokhtar (2010) dan Mokhtar dan Walling (2010).

Berdasarkan perubahan guna tanah yang berlaku di bahagian hulu Alur Ilmu maka kajian telah dilakukan bagi mengetahui impak perubahan guna tanah terhadap proses hakisan tanah berdasarkan peristiwa hujan semasa. Sehubungan itu, teknik radionuklid digunakan bagi mengetahui pola keruangan hakisan tanah tersebut. Teknik radionuklid yang digunakan adalah teknik berilium-7. Guguran berilium-7 di permukaan bumi yang menyerap masuk ke dalam liang udara tanah dapat menghasilkan pola aktiviti berilium-7 di dalam tanah. Pola aktiviti ini akan digunakan bagi memahami konsentrasi berilium-7 di dalam tanah dan seterusnya teknik radionuklid ini digunakan bagi menganggar kadar hakisan tanah jangka pendek yang berlaku di bahagian hulu Alur Ilmu, UKM.

Kawasan dan kaedah kajian

Kawasan kajian

Kajian telah dilakukan di bahagian hulu Alur Ilmu, UKM. Letakan geografi adalah pada $U02^{\circ} 55' 15''$ dan $T101^{\circ} 46' 50''$ (rujuk Rajah 1). Bahagian hulu Alur Ilmu ini mengalami proses hakisan galur yang serius. Keadaan ini berkait dengan permukaan cerun yang bersifat terjunan sehingga membenarkan proses penggorekan dasar cerun. Keadaan ini menyebabkan berlaku runtuh tanah di bahagian hadapan cerun dan berlaku proses cerun mengundur ke belakang. Manakala permukaan tanah di bahagian belakang galur pula hanya dilitupi dengan tumbuhan (rumput) yang berkepadatan rendah. Legeh di hulu Alur Ilmu ini sebenarnya masih dilitupi oleh tumbuhan berpokok yang berkepadatan sederhana iaitu Hutan Simpan Kekal UKM. Situasi ini sepatutnya tidak mengimpak dengan serius permukaan tanah sehingga terjadi hakisan permukaan dan hakisan galir. Namun begitu, keadaan topografi yang mempunyai kecuraman yang rendah iaitu sekitar satu peratus dan panjang cerun yang pendek iaitu sekitar 200 meter berupaya mempertingkatkan halaju air larian permukaan ke bahagian cerun hadapan (cerun terjun). Keadaan ini menggalakkan lagi pelebaran dan mendalamkan galur yang sedia ada (Rajah 2).



Rajah 1. Lokasi kawasan kajian di Alur Ilmu, UKM



Rajah 2. Landskap di bahagian hulu Alur Ilmu dengan kepadatan tumbuhan yang rendah dan pembentukan galur

Kaedah kajian

Fokus utama artikel ini adalah untuk menganggar kadar hakisan tanah jangka pendek di bahagian hulu Alur Ilmu menggunakan teknik radionuklid berilium-7. Namun begitu, sebelum perkara ini dapat dilakukan adalah penting untuk memahami konsentrasi berilium-7 di dalam air hujan. Sehubungan itu, dapatan kajian oleh Mokhtar et al. (2014) telah digunakan bagi mengesahkan kebolehpercayaan konsentrasi berilium-7 dalam air hujan. Pengarang melaporkan hubungan sederhana signifikan antara jumlah hujan dan aktiviti berilium-7 dalam air hujan. Walau bagaimanapun radionuklid berilium-7 dapat digunakan sebagai perunut dalam kajian hakisan tanah terutama dalam situasi hujan lebat dan selang masa sesuatu kejadian hujan yang lama. Bersandar pada rumusan pengarang tersebut maka proses pengumpulan data primer dilakukan ketika peristiwa hujan lebat sahaja.

Persampelan tanah dilakukan secara transet di sepanjang galir yang sedia terbentuk daripada peristiwa hujan yang berlaku sebelum hari persampelan tanah dilakukan. Transet sepanjang 90 meter ditetapkan dan melibatkan 17 titik persampelan. Pada setiap titik persampelan, teras tanah diambil sedalam 5 cm menggunakan teras plastik berdiameter 15 cm. Setiap sampel tanah dikeringkan dalam suhu bilik dan sampel tanah yang telah kering diayak bagi mendapatkan kumin tanah bersaiz 20 μ . Sebanyak 500 g sampel tanah 20 μ dimasukkan ke dalam pot plastik dan dikesan aktiviti berilium-7 menggunakan mesin pengesan gamma (HPGe) dengan spektrometer gamma rendah beresolusi tinggi. Tempoh pengesanan adalah selama 43,200 saat bersamaan 12 jam pada kekuatan tenaga 475 keV sebagaimana diusulkan oleh Blake et al. (1999).

Bagi menganggar kadar hakisan tanah secara taburan semula, model profil taburan digunakan. Model ini menganggar kedalaman taburan aktiviti berilium-7 dalam kolom tanah. Sehubungan itu, penukaran aktiviti berilium-7 di dalam kolom tanah perlu dilakukan bagi menganggar taburan semula tanah menggunakan fungsi eksponen berikut:

$$C(x) = Ce^{-x/h_0} \quad (1)$$

di mana nilai $C(x)$ adalah aktiviti berilium-7 ($Bq\ m^{-2}$) pada kedalaman x , C adalah nilai konstan, x adalah kedalaman jisim dari permukaan tanah, dan h_0 adalah nilai koefisien yang menjelaskan bentuk profil ($kg\ m^{-2}$). Nilai h_0 adalah 3.0 $kg\ m^{-2}$ iaitu lebih rendah daripada yang diperolehi oleh kebanyakan pengkaji lain di wilayah Eropah. Sebagai contoh Sepulveda et al. (2008) dan Blake et al. (1999) melaporkan nilai h_0 yang digunakan adalah, masing-masing 3.4 dan 5.4 $kg\ m^{-2}$. Nilai h_0 3.0 $kg\ m^{-2}$ yang digunakan memberi gambaran awal bahawa aktiviti berilium-7 dalam profil tanah di kawasan kajian tidak berlaku secara mendalam.

Hakisan tanah dalam galir di sepanjang transet dianggar mengikut kedalaman jisim pada setiap titik persampelan. Aktiviti berilium-7 di setiap titik persampelan perlu dibandingkan dengan nilai aktiviti berilium-7 di tapak inventori. Ini melibatkan prosedur mengira kadar taburan semula tanah sebagaimana diusulkan oleh Blake et al. (2002) seperti berikut:

$$A = C(x)dx = A_{ref}e^{h/h_0} \quad (2)$$

di mana A adalah nilai aktiviti berilium-7 di tapak inventori, A_{ref} adalah nilai aktiviti berilium-7 di tapak rujukan dan h adalah kedalaman hakisan tanah (kg m^{-2}). Nilai h dikira seperti berikut:

$$h = h_0 \ln (A / A_{ref}) \quad (3)$$

Selain menganggar kadar hakisan tanah, kadar pemendapan juga perlu dipastikan bagi menganggar kadar bersih kehilangan tanah. Kadar pemendapan dianggar seperti berikut:

$$h_1 = (A - A_{ref}) / C_d \quad (4)$$

di mana C_d adalah kepekatan berilium-7 pada sedimen termendap. Nilai C_d dianggar menggunakan nilai purata kepekatan berilium-7 bagi sedimen terhakis daripada titik-titik persampelan yang mengalami hakisan seperti berikut:

$$C_d = \int h C_e dS / \int h dS \quad (5)$$

di mana C_e adalah kepekatan berilium-7 di dalam kolom tanah yang dipindahkan daripada titik-titik persampelan yang mengalami hakisan. Nilai C_e pula ditentukan seperti berikut:

$$C_e = (A_{ref}^{-A}) / h \quad (6)$$

Berdasarkan semua rumus tersebut, kadar taburan semula tanah bagi aktiviti berilium-7 di dalam tanah dikira menggunakan model pertukaran profil taburan menggunakan perisian komputer yang dibangunkan oleh *Department of Geography, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter*.

Bagi menentukan kepekatan sedimen terampai, 500 ml sampel air pada permukaan aliran Alur Ilmu diambil di bahagian *outlet* Alur Ilmu. Sampel air ini diambil selepas peristiwa hujan lebat bagi sesuatu kejadian hujan iaitu selama tujuh bulan daripada Julai 2011 hingga Januari 2012. Ini melibatkan sebanyak 26 peristiwa hujan yang signifikan sahaja. Sampel air tersebut digoncang bagi memsebatikan bahan kelodak sebelum dituras menggunakan kertas turas membran bersaiz $0.45 \mu\text{m}$. Bahan mendak kering yang tertinggal di atas kertas turas tersebut ditimbang dan seterusnya pengiraan kepekatan sedimen terampai bagi peristiwa hujan berkaitan dikira seperti berikut:

$$\text{SSC} = \frac{(\text{Berat kertas turas bersama bahan mendak}) - (\text{Berat kertas turas asal (tanpa bahan mendak)}) \times 1000}{\text{Isipadu air (500 ml)}} \quad (7)$$

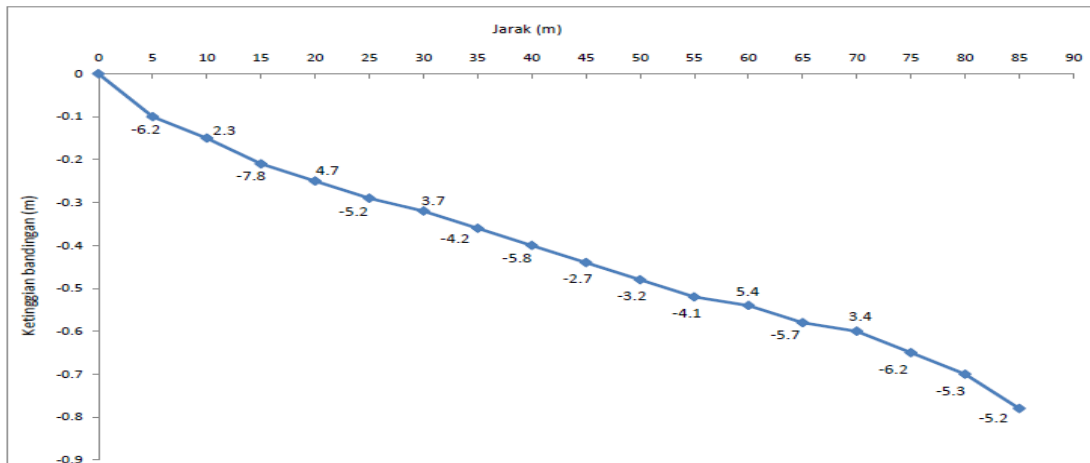
Hasil dan perbincangan

Anggaran kadar hakisan tanah jangka pendek

Nilai purata aktiviti berilium-7 yang diperolehi daripada sampel tanah pukal di tapak inventori adalah 55.07 Bq m^{-1} . Nilai ini adalah rendah daripada nilai purata aktiviti berilium-7 yang diperolehi daripada sampel tanah pukal di tapak rujukan iaitu 77.78 Bq m^{-1} . Dapatan ini menunjukkan berlaku pengurangan aktiviti berilium-7 sebanyak 29.2 peratus di tapak inventori. Ini merupakan petunjuk awal bahawa berlaku pemindahan kumin tanah di tapak inventori melalui proses hakisan tanah.

Rajah 3 menunjukkan profil anggaran taburan hakisan dan pemendapan tanah yang berlaku di sepanjang transet galir di Alur Ilmu. Nilai yang ditunjukkan adalah mengikut kedalaman profil tanah berlawanan dengan jarak transet. Berdasarkan rajah tersebut adalah jelas berlaku kedua-dua proses hakisan dan pemendapan tanah di sepanjang transet. Anggaran jumlah hakisan tanah adalah 61.6 t ha^{-1} dengan nilai purata 5.13 t ha^{-1} manakala anggaran jumlah pemendapan pula adalah 19.5 t ha^{-1} dengan nilai

purata adalah 3.9 t ha^{-1} . Ini menghasilkan anggaran bersih hakisan tanah adalah sebanyak 42.1 t ha^{-1} dan nisbah hasil sedimen sebanyak 68.3 peratus.



Rajah 3. Profil anggaran taburan hakisan dan pemendapan tanah di sepanjang transect

Berdasarkan data yang diperolehi dapat disahkan telah berlaku proses hakisan yang signifikan di kawasan landskap yang mempunyai kepadatan rumput yang rendah di bahagian hulu Alur Ilmu. Keadaan ini memudahkan pemindahan kumin tanah terhakis daripada permukaan tanah dan galir ke dalam sistem aliran Alur Ilmu melalui tindakan air larian yang deras. Kebanyakan proses hakisan tanah berlaku di bahagian tengah dan hilir transect. Pemendapan kumin tanah lebih tertumpu di bahagian hulu atau berhampiran dengan legeh Alur Ilmu dan Hutan Simpan UKM. Pada penghujung galir berlaku proses hakisan galir yang sangat serius (Rajah 4). Kombinasi kedua-dua proses hakisan tanah di bahagian hulu Alur Ilmu ini iaitu hakisan galir dan hakisan galir telah menyumbang kepada peningkatan kepekatan sedimen terampai dan kekeruhan di dalam aliran Alur Ilmu.



Rajah 4. Pembentukan galur di bahagian hadapan hulu Alur Ilmu

Kejadian proses hakisan galir dan hakisan galur di bahagian hulu Alur Ilmu harus diberi perhatian yang serius. Ini kerana anggaran kadar kehilangan tanah daripada proses hakisan galir sahaja mencapai 68 peratus bagi satu peristiwa hujan. Jumlah hujan yang dicatatkan sebelum persampelan tanah dilakukan

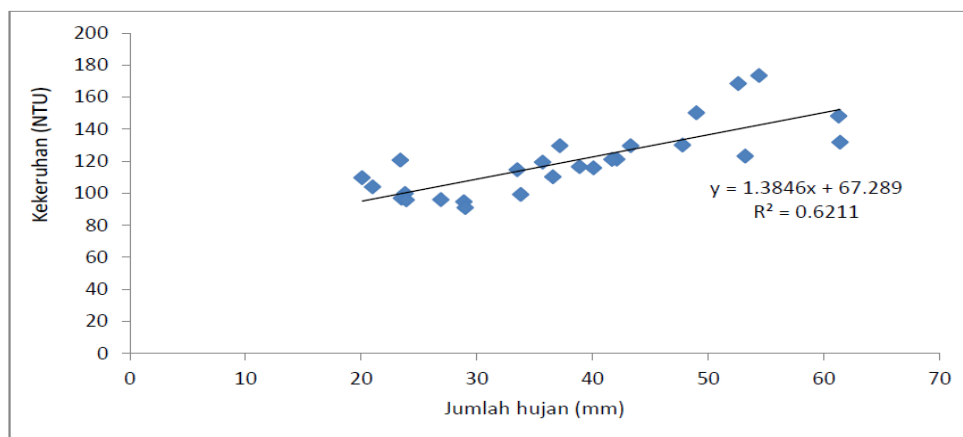
adalah sebanyak 37.2 mm. Jumlah hujan sebanyak ini telah mampu menghasilkan kadar anggaran kehilangan tanah yang tinggi. Pembentukan galur juga didapati semakin melebar dan berlaku hakisan ke belakang. Jika tiada kawalan segera diambil adalah dijangka landskap terbuka di bahagian hulu Alur Ilmu ini akan hilang dan akan terhasil gaung yang sangat besar.

Selain faktor hujan, ciri tanah setempat turut menggalakkan proses hakisan tanah yang serius di landskap hijau di bahagian hulu Alur Ilmu. Berdasarkan sampel tanah yang dianalisis didapati lebih 60 peratus terdiri daripada tanah bertekstur pasir sederhana dan kasar. Tekstur tanah begini mempunyai ikatan agregat yang longgar dan sangat mudah dihakis melalui impak titisan hujan dan tindakan hidraulik air larian permukaan. Kajian oleh Fox dan Bryan (1999) dan Porto et al. (2003) membuktikan proses hakisan tanah sangat mudah berlaku bagi tanah bertekstur kasar seperti pasir.

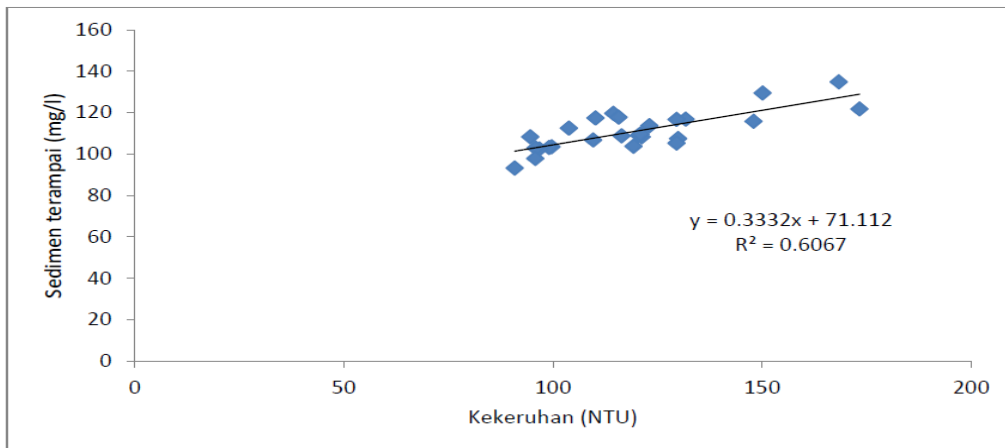
Perilaku hujan, kekeruhan dan sedimen terampai

Berdasarkan 26 peristiwa hujan dan pencerapan data kekeruhan di stesen pemantauan yang diletakkan di lokasi strategik di Alur Ilmu, jumlah hujan mempunyai hubungan yang sederhana signifikan terhadap kadar kekeruhan aliran Alur Ilmu. Nilai r^2 yang diperolehi adalah 0.6211, dan ini bermakna wujud faktor lain selain daripada jumlah hujan yang turut mempengaruhi kadar kekeruhan aliran Alur Ilmu. Berdasarkan pemerhatian, faktor lain tersebut dapat dikaitkan dengan kemasukan sisa pepejal daripada premis makanan di Pusanika dan kafeteria Fakulti Sains dan Teknologi (FST), serta kemasukan sisa kimia daripada makmal sains di fakulti tersebut. Selain itu, pembersihan bahan mendak sedia ada di dalam aliran Alur Ilmu ketika aliran cetek turut meningkatkan kadar kekeruhan ketika hujan kerana sisa bahan mendak yang dibersihkan akan bercampur semula dengan aliran Alur Ilmu semasa peristiwa hujan.

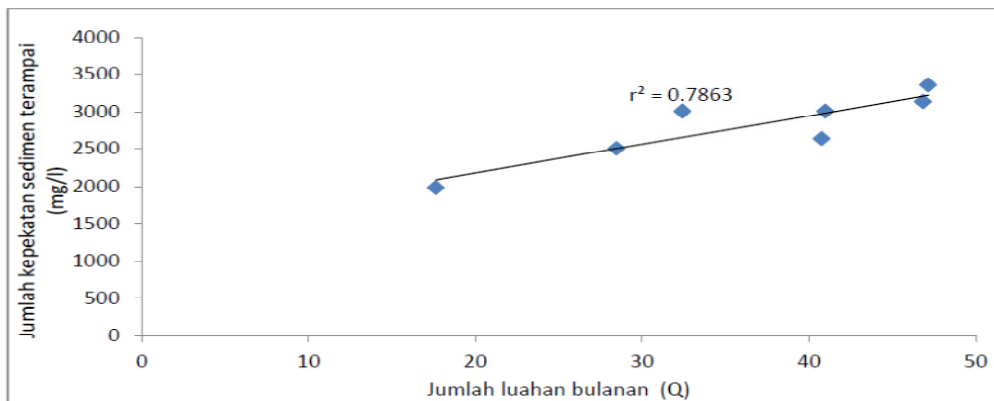
Hubungan kadar kekeruhan dan kepekatan sedimen terampai menghasilkan nilai korelasi r^2 0.6067. Nilai ini hampir selari dengan nilai korelasi antara jumlah hujan dan kadar kekeruhan aliran Alur Ilmu. Manakala jumlah kepekatan sedimen terampai dan jumlah luahan menghasilkan nilai r^2 0.7863 berbanding nilai yang lebih rendah iaitu 0.565 bagi purata luahan dan purata kepekatan sedimen terampai. Kedua-dua nilai yang sederhana ini menunjukkan luahan (jumlah dan purata) turut mempengaruhi hasil sedimen terampai di dalam Alur Ilmu. Rajah 5, Rajah 6, Rajah 7 dan Rajah 8 masing-masing menunjukkan kekuatan hubungan dan persamaan yang terhasil daripada peristiwa hujan, kekeruhan, kepekatan sedimen dan luahan aliran Alur Ilmu.



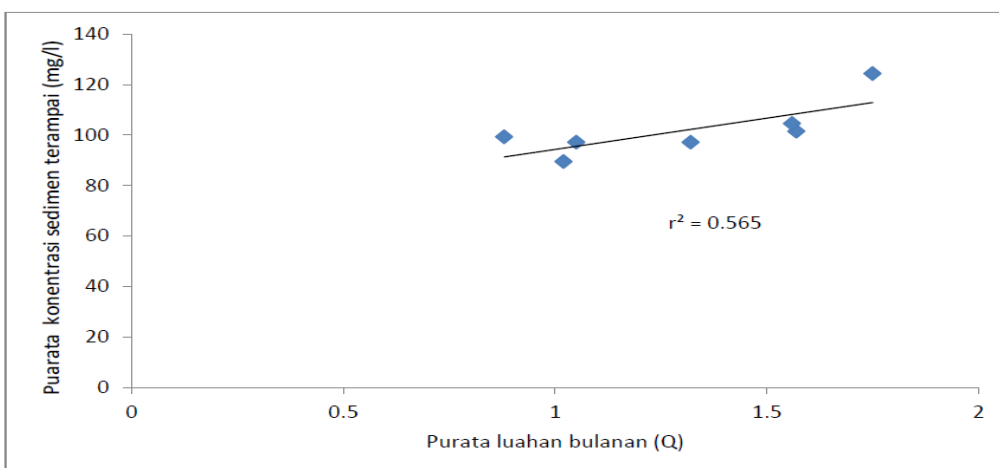
Rajah 5. Hubungan antara jumlah hujan (mm) dan kadar kekeruhan (NTU)



Rajah 6. Hubungan antara kekeruhan (NTU) dan kepekatan sedimen terampai (mg/l)



Rajah 7. Hubungan antara jumlah luahan bulanan (Q) dan jumlah kepekatan sedimen terampai bulanan (mg/l)



Rajah 8. Hubungan antara purata luahan bulanan (Q) dan purata kepekatan sedimen terampai bulanan (mg/l)

Persamaan antara hubungan kadar kekeruhan dan kepekatan sedimen terampai ($0.332x + 71.112$) digunakan untuk menganggar kepekatan sedimen terampai menggunakan nilai kekeruhan harian (nilai x) yang diperolehi daripada proses pemantauan alatan siri masa YEO-KAL. Berdasarkan persamaan tersebut nilai purata kepekatan sedimen terampai (mg/l) yang diperolehi sepanjang tempoh pemantauan ditunjukkan dalam Jadual 1. Julat jumlah kekeruhan bulanan daripada Julai 2011 hingga Januari 2012 adalah 1,536.6-4,305.89 NTU. Julat nilai purata kekeruhan bagi tempoh yang sama pula dicatatkan antara 54.88-159.48 NTU. Kadar kekeruhan tertinggi dicatatkan pada Oktober dan November dengan jumlah kekeruhan adalah 4,305.89 dan 3,008.86 NTU dengan nilai puratanya masing-masing adalah 159.48 dan 100.30 NTU. Julat nilai bagi kepekatan sedimen terampai pula adalah antara 89.4-124.25 mg/l dengan masing-masing mencatatkan nilai purata sebanyak 92.3 NTU dan 101.85 mg/l. Ujian korelasi bagi menentukan kekuatan hubungan antara kedua-dua parameter tersebut menunjukkan hubungan yang sempurna ($r^2 = 1$) bagi nilai-nilai purata kekeruhan bulanan dan purata kepekatan sedimen terampai bulanan. Manakala hubungan antara jumlah kekeruhan bulanan dan jumlah kepekatan sedimen terampai bulanan pula menunjukkan tahap signifikan yang sederhana dengan nilai r^2 adalah 0.672. Berdasarkan dapatan yang dilaporkan ini adalah jelas aliran Alur Ilmu mengalami masalah kemasukan sedimen yang serius. Kedua-dua parameter (kekeruhan dan kepekatan sedimen terampai) mencatatkan kadar kepekatan yang tinggi kesan daripada kemasukan kumin tanah terhakis di bahagian hulu Alur Ilmu, sisa pepejal daripada premis makanan serta effluen daripada makmal sains yang terdapat di sepanjang laluan Alur Ilmu.

Jadual 1. Nilai kekeruhan (NTU) dan nilai kepekatan sedimen terampai daripada Julai 2011 hingga Januari 2012

Bulan	Kekeruhan (NTU)	Kepekatan sedimen terampai (mg/l)
	Purata	Purata
Julai 2011	84.34	99.21
Ogos 2011	90.92	101.41
September 2011	54.88	89.40
Oktober 2011	159.48	124.25
November 2011	100.29	104.53
Disember 2011	78.02	97.11
Januari 2012	77.99	97.09
PURATA	92.27	101.86

Sumber: Data lapangan 2011/2012

Berdasarkan data kepekatan sedimen terampai yang diperolehi dan data luahan yang diceraip di stesen pemantauan di bangunan Blok C, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan (FSSK), muatan sedimen terampai bagi aliran Alur Ilmu dikira seperti berikut:

$$SSL = \sum_{i=1}^n (C_i Q_i) \quad (8)$$

di mana SSL adalah muatan sedimen terampai (*suspended sediment load*), C_i adalah kepekatan sedimen terampai dan Q_i adalah luahan. Julat muatan sedimen terampai yang diperolehi sepanjang tempoh kajian adalah antara 101.85-225.75 t, dan nilai purata adalah 146.35 t (rujuk Jadual 2). Sebagai tambahan, nilai-nilai ini digunakan untuk menentukan hasil sedimen Alur Ilmu seperti berikut:

$$SY = SSL/A \quad (9)$$

di mana SY adalah hasil sedimen (*sediment yield*), dan A adalah keluasan Lembangan Alur Ilmu iaitu 1.2609 km². Jumlah hasil sedimen sepanjang tempoh kajian adalah 812.56 t km⁻², dan nilai purata adalah 116.08 t km⁻².

Jadual 2. Anggaran muatan sedimen terampai dan hasilan sedimen aliran Alur Ilmu

Bulan	Muatan sedimen terampai (t)	Hasilan sedimen (t km ⁻²)
Julai 2011	123.85	98.23
Ogos 2011	168.53	133.67
September 2011	101.85	80.79
Oktober 2011	225.75	179.06
November 2011	160.32	127.16
Disember 2011	139.47	110.62
Januari 2012	104.68	83.03
JUMLAH	1,024.47	812.56
Purata	146.35	116.08

Dapatan yang diperolehi menunjukkan kemampuan lembangan dan aliran Alur Ilmu dalam menjana sedimen terampai yang banyak sepanjang tempoh tujuh bulan kajian dilakukan. Bagi sebuah lembangan yang bersaiz kecil seperti lembangan Alur Ilmu, jumlah muatan sedimen dan hasilan sedimen yang terhasil adalah sangat serius dan memerlukan pemuliharaan segera bagi mengelak impak *off-site* yang lebih teruk kepada aliran Alur Ilmu dan Sg. Langat.

Penjanaan sedimen terampai oleh proses hakisan tanah

Anggaran penjanaan sedimen terampai yang memasuki aliran Alur Ilmu ditentukan berdasarkan peristiwa hujan semasa bagi persampelan tanah yang mewakili proses hakisan tanah semasa. Sehubungan itu, anggaran jumlah sedimen terampai dalam Alur Ilmu adalah sebanyak 53.05 t km⁻². Jumlah ini, walau bagaimanapun, berdasarkan keluasan Lembangan Alur Ilmu dan nilai ini mungkin tidak mewakili proses hakisan tanah yang berlaku di bahagian hulu Alur Ilmu sahaja. Sehubungan itu, nisbah hasilan sedimen digunakan bagi mendapatkan jumlah sebenar hasilan sedimen dengan mengambil kira kemasukan kumin-tanah daripada peristiwa hujan dan hakisan tanah semasa yang berlaku di bahagian hulu Alur Ilmu. Hasilnya, sebanyak 36.23 t km⁻² sedimen telah dijana daripada proses hakisan tanah di bahagian hulu Alur Ilmu. Jumlah ini berbeza sebanyak -31.0 peratus daripada nilai purata hasilan sedimen bagi tempoh tujuh bulan tempoh kajian. Bagi tempoh tujuh bulan tersebut, telah berlaku sebanyak 16 peristiwa hujan yang melebihi 35.0 mm. Sekiranya diandaikan setiap peristiwa hujan dan proses hakisan tanah yang berlaku sepanjang tempoh tujuh bulan tersebut adalah sama maka jumlah hasilan sedimen yang terhasil adalah 576.68 t km⁻². Jumlah ini mewakili 71.0 peratus daripada keseluruhan hasilan sedimen yang dikira berdasarkan nilai-nilai purata bulanan muatan sedimen terampai di dalam aliran Alur Ilmu.

Sehubungan itu perhatian serius harus diberikan terhadap kejadian proses hakisan tanah yang berlaku di bahagian hulu Alur Ilmu. Walaupun fokus kajian hanya kepada proses hakisan tanah jangka pendek namun perhatian juga harus diberikan pada proses hakisan galur yang berlaku secara serius di bahagian hadapan galir Alur Ilmu. Kewujudan galur yang sangat besar merupakan petunjuk bahawa kemasukan sedimen yang lebih besar ke dalam aliran Alur Ilmu. Tahap erodibiliti tanah yang rapuh di bahagian hulu Alur Ilmu menyebabkan umpilan kumin tanah oleh air larian permukaan dan korekan dasar galur oleh terjunan air larian permukaan di bahagian hadapan cerun menyumbang penghasilan sedimen yang banyak kepada aliran Alur Ilmu.

Kesimpulan dan Cadangan

Artikel ini melaporkan kadar hakisan tanah jangka pendek yang dianggar menggunakan teknik radionuklid berilium-7. Petunjuk awal yang menyokong kejadian proses hakisan tanah di bahagian hulu Alur Ilmu adalah kewujudan galir dan galur. Lebih separuh daripada kumin tanah terhakis telah dipindah keluar daripada landskap hijau di kawasan ini daripada sesuatu peristiwa hujan yang signifikan daripada bulan Julai 2011 hingga Januari 2012. Pola keruangan hakisan tanah menunjukkan berlaku kedua-dua proses hakisan dan pemendapan tanah di sepanjang galir Alur Ilmu yang dikaji namun jumlah kasar hakisan tanah melebihi jumlah pemendapan yang berlaku. Ini menghasilkan kadar hasil sedimen yang agak tinggi bagi sesuatu peristiwa hujan.

Analisis kepekatan sedimen terampai pula menunjukkan aliran Alur Ilmu sentiasa menerima kemasukan sedimen yang tinggi. Jumlah muatan sedimen terampai dan hasil sedimen yang dicatatkan sepanjang tempoh kajian menunjukkan aliran Alur Ilmu mengalami masalah pencemaran sedimen yang sangat serius. Sumbangan lebih 70 peratus hasil sedimen dalam Alur Ilmu adalah daripada proses hakisan tanah. Sehubungan itu usaha mitigasi yang mesra alam perlu segera dilaksanakan di bahagian hulu Alur Ilmu dengan meningkatkan lagi kepadatan tumbuhan renek di bahagian permukaan landskap hijau yang sedia ada. Sebagai tambahan, bagi melestarikan Alur Ilmu secara menyeluruh, usaha memulihara pencemaran aliran Alur Ilmu tidak seharusnya semata-mata mempertimbangkan impak proses hakisan tanah sahaja tetapi turut mempertimbangkan faktor lain sebagaimana dibincangkan oleh Haslinur et al. (2012). Data mengenai kemasukan bahan mendak, sisa pencemar, geofizikal lembangan, ciri aliran dan operasi pelbagai pihak di sepanjang Alur Ilmu perlu diintegrasikan bagi menghasilkan perancangan dan pengurusan lembangan Alur Ilmu yang lebih sistematik dan menjayakan usaha kampus UKM lestari.

Penghargaan

Penulis merakamkan penghargaan kepada penyumbang dana iaitu Kementerian Pendidikan Tinggi melalui dana penyelidikan UKM-SK-08-FRGS0231-2010, serta pihak Universiti Kebangsaan Malaysia melalui Pusat Pengurusan Penyelidikan dan Instrumentasi (CRIM), Universiti Kebangsaan Malaysia dalam melancarkan penyelidikan yang dilakukan.

Rujukan

- Blake WH, Walling DE, He Q (1999) Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigation. *Applied Radiation and Isotop* **51**, 599-605.
- Fox DM, Bryan RB (1999) The relationship of soil loss by interill erosion to slope gradient. *Catena* **38**, 211-222.
- Haslinur Md Din, Mohd Ekhwan Toriman, Mazlin Mokhtar, Rahmah Elfithri, Nor Azlina Ab Aziz, Nur Munirah Abdullah, Mohd Khairul Amri Kamarudin (2012) Kepekatan Beban Bahan Pencemar di Alur Ilmu Kampus UKM Bangi: Kaedah Min Kepekatan Peristiwa (EMC). *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* **16**(3), 353-365.
- Mohd Ekhwan Toriman, Mazlin Mokhtar, Othman A. Karim, M. Barzani Gasim, Raihan Tahar (2009) Short-term sediment yields from small catchment of Sungai Anak Bangi, Selangor. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* **55**, 55-59.
- Mokhtar Jaafar, Hafizi Mat Salleh, Sharifah Mastura Syed Abdullah (2014) Konsentrasi aktiviti berilium-7 dalam air hujan setempat – Teknik alternatif dalam kajian hakisan tanah di Malaysia. *GEOGRAFIA Malaysian Journal of Society and Space* **10**(5), 180-187.
- Mokhtar Jaafar (2010) Penganggaran kadar hakisan tanah jangka pendek dan jangka panjang menggunakan teknik radionuklid. *E-Bangi* **5**(1), 173-179.

- Mokhtar J, Walling DE (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*. Springer, Dordrecht.
- Nurul Afina Abd Mutalib, Othman A. Karim, Ahmad Dasuki Mustafa (2015) The Water Quality Study and Sources of Pollution in Alur Ilmu, UKM. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* **19**(5), 1137-1146.
- Porto P, Walling DE, Tamburino V, Callegari G (2003) Relating caesium-137 and soil loss from cultivated land. *Catena* **53**, 303-326.
- Sepulveda A., Schuller P, Walling DE, Castillo A (2008) Use of ⁷Be to document erosion associated with a short period of extreme rainfall. *Journal of Environmental Radioactivity* **99**(1), 35-49.
- Zapata F (Ed.) (2002) *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation using Environmental Radionuclides*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.