



Kajian erosi tanah menggunakan Isotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb excess di Sub DAS Ciesek, DAS Ciliwung Hulu, Bogor

Studies of soil erosion using Isotop (^{137}Cs and ^{210}Pb excess) at Ciesek Sub Watershed, Upper Ciliwung Watershed, Bogor

Kukuh MurtiLaksono^a, Ania Citraresmini^b, Sri Malahayati Yusuf^{ac}, Taufik Bachtiar^b, Dwi Mwi Lawaswati^a

^aDepartemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia [+62 251-629 360]

^bPusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta Selatan, 12440, Indonesia [+62 21-7690709]

^cPusat Penelitian Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia [+62 251-8621262]

Article Info:

Received: 14 - 07 - 2020

Accepted: 13 - 08 - 2020

Keywords:

Inventory value, isotope, land use, reference, soil erosion/deposition

Corresponding Author:

Kukuh MurtiLaksono
Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB University;
Tel. +62-251-8629 360
Email:
kmurtiLaksono@yahoo.com

Abstract. *Fallout radio nuclides method has been applied and developed to study and measure soil erosion for long time. This research aimed to predict soil erosion/deposition in Ciesek subwatershed, Upper Ciliwung watershed using natural fallout radionuclides of ^{137}Cs dan ^{210}Pb excess. Soil samples were taken using soil core along four transects of different land use types. Soil samples were analyzed using Multi Channel Analyzer (MCA) to obtain inventory value of the radioisotopes. The research showed different distribution pattern of soil erosion/deposition of ^{137}Cs dan ^{210}Pb excess isotopes. Application of ^{137}Cs isotope shows soil erosion process under home mix garden and dryland farm, but soil deposition process occurs on bareland. In the contrary, ^{210}Pb excess indicates soil erosion on bare land while soil deposition is under home mix garden and dryland farm. Application of ^{210}Pb excess is more reliable than ^{137}Cs in predicting soil erosion.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

MurtiLaksono K, Citraresmini A, Yusuf SM, Bachtiar T, Laraswati DM. 2020. Kajian erosi tanah menggunakan Isotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb excess di Sub DAS Ciesek, DAS Ciliwung Hulu, Bogor. *JPSL* 10(3): 501-510. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.3.501-510>.

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai bagian dari suatu ekosistem memiliki berbagai jenis tutupan lahan seperti hutan, daerah pertanian, dan area pemukiman. Praktik pengelolaan lahan pertanian yang diterapkan masyarakat sebagian besar masih tidak mengacu pada tercapainya fungsi keberlanjutan lahan tersebut. Hal ini ditunjukkan dengan masih sedikitnya petani yang menerapkan tindakan konservasi tanah dan air di lahannya yang menimbulkan beberapa masalah seperti erosi tanah. Umumnya erosi tanah yang berasal dari lahan pertanian kering di Indonesia melebihi dari 15 totn/ha/thn (MurtiLaksono, 2013). Pada skala yang lebih kecil, nilai erosi tanah prediksi di DAS Ciliwung Hulu sebesar 247.28 ton/ha/thn pada tahun 2011 (BPDAS Citali, 2012).

DAS Ciliwung Hulu terdiri dari Sub DAS Ciliwung Hulu, Sub DAS Cisarua, Sub DAS Ciesek, Sub DAS Cisuren, Sub DAS Ciseuseupan, Sub DAS Cisukabiru, dan Sub DAS Cibalok. Sub DAS Ciesek memiliki laju erosi tanah prediksi yang lebih tinggi dibandingkan Sub DAS lainnya terutama pada lahan agroforestri (Fitri, 2018). Penelitian tersebut dilakukan pada lahan agroforestri yang dikaji memiliki kemiringan lereng 15 hingga

25%. Hasil penelitian Santoso *et al.* (2019) menunjukkan bahwa sebagian besar DAS Ciliwung Hulu termasuk Kecamatan Megamendung memiliki nilai erosi tanah prediksi sebesar 181 hingga 480 ton/ha/thn. Nilai erosi tanah hasil pengukuran menggunakan petak erosi yang ditanami sayuran di Kecamatan Megamendung berkisar antara 122.31 sampai dengan 206.44 ton/ha/thn (Fathiyah, 2013). Penelitian yang dilakukan oleh Nuraida *et al.* (2016) menunjukkan bahwa sebagian besar area di Sub DAS Ciesek termasuk dalam kelas tingkat bahaya erosi berat hingga sangat berat.

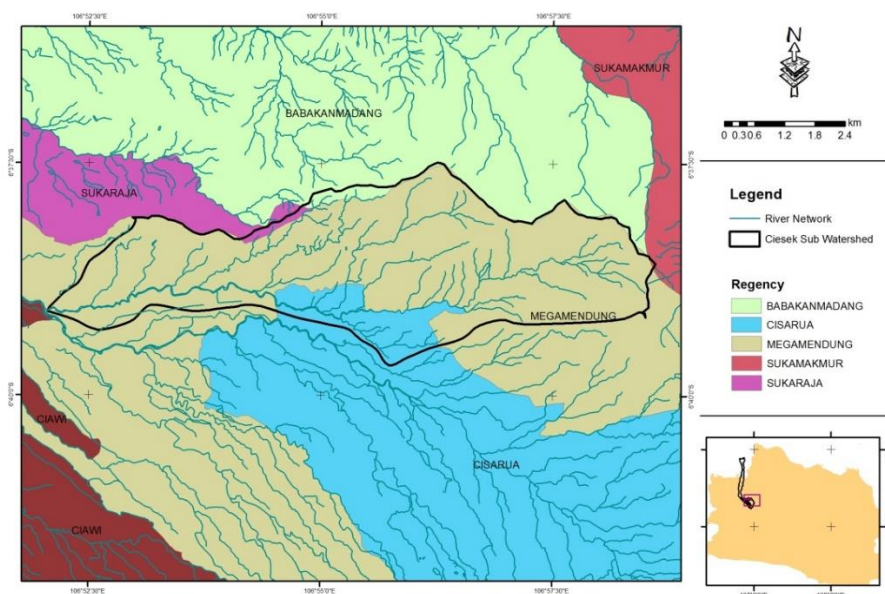
Pengukuran nilai erosi tanah menggunakan plot erosi dibatasi oleh musim. Di sisi lain, pendugaan erosi tanah menggunakan metode USLE membutuhkan asumsi dalam praktik analisisnya agar hasil prediksi tidak menjadi bias (*under/over-estimate*). Hal ini dapat saja terjadi dikarenakan adanya penggunaan data dalam proses prediksi yang tidak berasal dari wilayah kajian, misalnya yaitu data faktor pengelolaan tanaman dan pengelolaan tanah. Sebagaimana dinyatakan oleh Poel dan Subagyono (1998), bahwa subjektivitas penggunaan data merupakan salah satu sumber penyebab *under/over* estimasi dari model USLE.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan analisis erosi tanah dengan menggunakan metode lainnya sehingga mampu memberikan gambaran yang utuh terhadap proses erosi tanah yang terjadi, terutama pada skala DAS. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu penggunaan radioisotop lingkungan. Pemanfaatan jatuhnya radioisotop di alam dalam analisis pergerakan partikel tanah telah lama dikembangkan dan mampu memberikan pemahaman yang baik terhadap proses erosi tanah yang terjadi (Wise, 1980; Bernard dan Mabit, 2005; Suhartini dan Alyanta, 2007; Zhang dan Li, 2014; IAEA, 2014; Aliyanta, 2015). Radioisotop alam yang sering digunakan dalam kajian erosi tanah adalah ^{137}Cs dan ^{210}Pb *excess*.

Hasil penelitian Aliyanta (2015) menunjukkan bahwa erosi tanah prediksi menggunakan ^{210}Pb *excess* di Sub DAS Cisadane Hulu berkisar antara 15 hingga 49 ton/ha/thn, dan sebesar 12 hingga 2 ton/ha/thn berdasarkan analisis menggunakan ^{137}Cs . Penggunaan jatuhnya radioisotop (selanjutnya ditulis isotop) di alam ini lebih jauh dapat menunjukkan apakah pada suatu area tersebut terjadi erosi tanah atau proses deposisi (Porto dan Walling, 2012; Kato *et al.*, 2010; Rabesirana *et al.*, 2016). Hal tersebut ditentukan berdasarkan nilai inventori isotop daerah pembanding (*reference*) dengan inventori isotop area kajian. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji distribusi erosi/deposisi yang terjadi di Sub DAS Ciesek menggunakan jatuhnya isotop di alam ^{137}Cs dan ^{210}Pb *excess*.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian



Gambar 1 Peta lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Ciesek mulai bulan Januari hingga Desember 2019. Analisis isotop dilakukan di Laboratorium BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) Pasar Jumat, Jakarta Selatan, sedangkan analisis bobot isi tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB University.

Sub DAS Ciesek yang seluas 2537.25 ha secara geografis terletak antara 106.86° - 106.98° BT dan 6.62° - 6.66° LS, dan secara administratif berada di Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1). Secara administratif, Sub DAS Ciesek meliputi lima kecamatan yaitu Babakan Madang, Suka Makmur, Mega Mendung, Cisarua, dan Suka Raja.

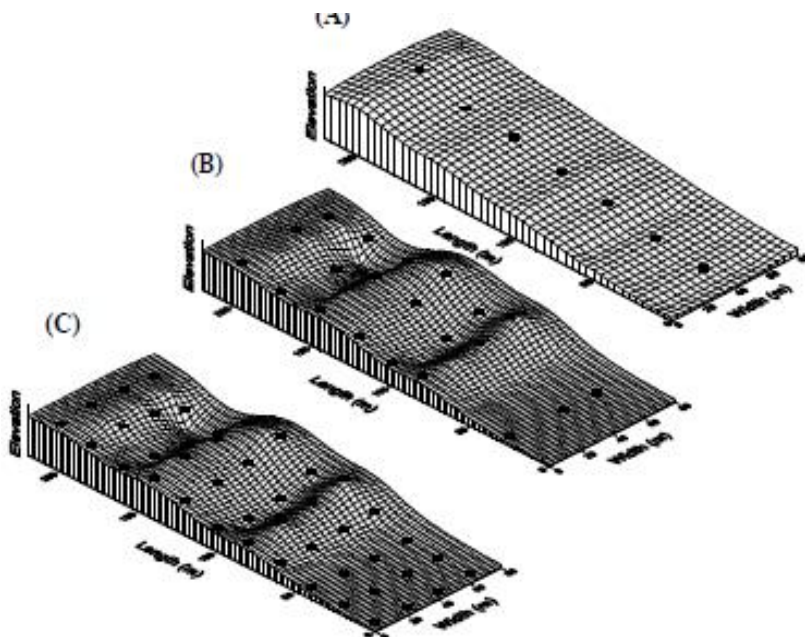
Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data primer baik dari hasil pengamatan langsung di lapangan maupun hasil analisis sampel tanah di laboratorium. Bahan yang digunakan terdiri dari contoh tanah utuh dan contoh tanah *core*. Alat yang digunakan mencakup GPS (*Global Positioning System*), bor Belgi, cangkul, *ring samples*, *soil corer*, pisau lapang, dan peralatan laboratorium.

Pengambilan Contoh Tanah

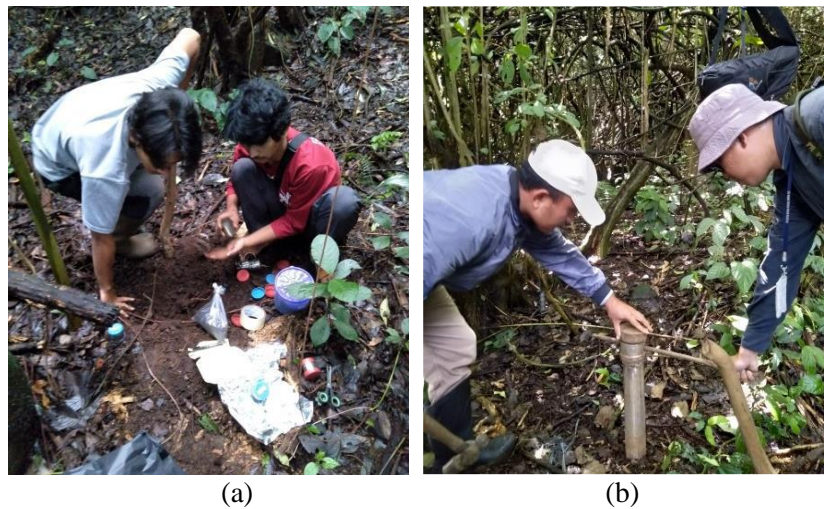
Pendekatan yang digunakan untuk pengambilan sampel tanah adalah pendekatan transek (Gambar 2), yaitu suatu pendekatan yang didasarkan pada hipotesis bahwa adanya keseragaman lateral pada distribusi isotop ^{137}Cs disepanjang suatu transek yang paralel (Mabit *et al.*, 2014). Pendekatan ini dipilih karena cocok untuk area yang kecil dan masing-masing titik di dalam area tersebut hanya menerima aliran dari bagian atasnya (lereng atas).

Terdapat tiga transek sebagai lokasi yang diteliti yaitu transek di kebun campuran, tegalan, dan lahan terbuka, serta transek hutan yang digunakan sebagai daerah pembanding/acuan/referensi (*reference*). Pada setiap transek diambil contoh tanah pada kedalaman 0-20 cm dan mewakili lereng atas, tengah, dan bawah menggunakan *soil corer* (diameter 7 cm). Adapun jumlah *core* untuk masing-masing transek secara berurutan yaitu sebanyak 10, 13, dan 8 *core*. Perbedaan jumlah *core* contoh tanah yang diambil didasarkan pada perbedaan luas setiap penggunaan lahan namun hanya diambil 4 nilai yang digunakan. Sampel tanah juga diambil menggunakan *ring sampler* untuk mendapatkan contoh tanah utuh.



Gambar 2 Desain pengambilan contoh tanah pada transek sederhana (a), transek multipel (b), dan transek grid (c)

Pengambilan contoh tanah pada daerah pembanding merupakan hal yang sangat penting dalam penelitian menggunakan teknik radionuklida jatuhnya karena akan diperlakukan sebagai nilai acuan (*reference*) baik untuk analisis kualitas maupun kuantitas radionuklida. Pada kajian redistribusi tanah, nilai inventori acuan umumnya ditemukan pada lokasi-lokasi yang belum terganggu atau lokasi yang mengalami gangguan sesedikit mungkin. Pada penelitian ini, daerah pembanding yaitu hutan alam yang terletak di daerah hulu Sub DAS Ciesek dengan kemiringan lereng yang relatif datar pada koordinat 06°39'03.3" LS dan 106°57'35.5" BT, dan di ketinggian berkisar 1319 meter di atas permukaan laut (mdpl). Pengambilan sampel tanah untuk daerah pembanding dilakukan dengan interval kedalaman 2 cm sampai dengan 20 cm. Selain itu, diambil juga sampel *core* dengan kedalaman 20 cm sebanyak 4 buah di sekitar titik pengambilan sampel profil kedalaman tersebut. Pengambilan sampel dengan cara ini bertujuan untuk mendapatkan nilai inventori pembanding yang diwakili oleh nilai rata-rata keempat *core*. Proses pengambilan contoh disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengambilan contoh tanah utuh (a) dan contoh tanah *core* (b)

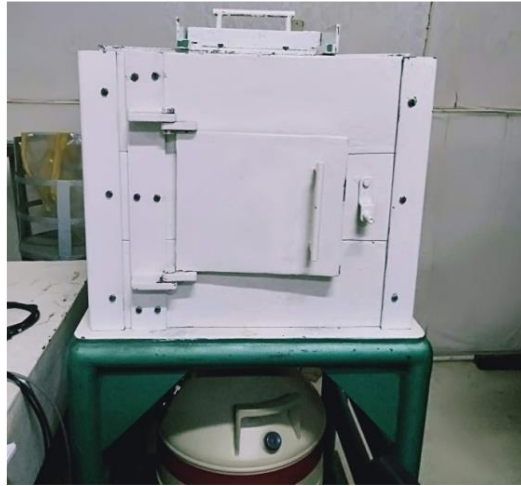
Persiapan Sampel Tanah

Persiapan sampel tanah untuk analisis isotop terdiri dari beberapa tahapan yaitu (1) sampel tanah dikeringkan dengan sistem kering udara, diayak dan ditimbang, (2) sebanyak 300 sampai dengan 400 gram sampel kering yang lolos saringan 10 *mesh* dimasukkan dalam wadah khusus tabung *merrinelli* yang ditutup rapat dan dibiarkan selama kurang lebih 1 bulan. Penutupan wadah sedemikian rupa ditujukan agar tercapai keseimbangan antara aktivitas Ra-226 dengan anak luruhnya.

Analisis Sampel Tanah

Analisis sifat fisik tanah berupa nilai bobot isi dilakukan dengan metode analisis Black dan Hartge (1986), dan pengukuran aktivitas isotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb *excess* dilakukan dengan alat MCA (*Multi Channel Analyzer*, Gambar 4). Pengukuran tersebut dilakukan menggunakan *low energy detector* dengan efisiensi relatif 30% untuk mendapatkan nilai inventori masing-masing isotop. Analisis dilakukan di laboratorium PAIR-BATAN, khusus untuk cacahan latar rendah (*low background counting*).

Aktivitas ^{137}Cs dalam sampel diukur berdasarkan cacahan pada energi 661 KeV, sedangkan aktivitas ^{210}Pb *excess* pada energi 46.5 KeV sebagai representasi dari aktivitas ^{210}Pb total dan ^{210}Pb *supported* melalui aktivitas ^{214}Pb dengan energi 351 KeV (IAEA, 2014; Gaspar *et al.*, 2013; Aliyanta *et al.*, 2019). Pengukuran dengan alat MCA dilakukan selama 18 hingga 24 jam.



Gambar 4 Alat MCA (Multi Channel Analyzer)

Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan dengan cara menduga erosi tanah/deposisi dengan isotop di alam ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb excess}$ berdasarkan nilai aktivitas kedua isotop tersebut. Secara kualitatif, analisis dilakukan dengan membandingkan hasil aktivitas masing-masing isotop antara lokasi pembandingan dengan lokasi yang dikaji.

Aktivitas isotop ^{137}Cs (Bq/kg) dan $^{210}\text{Pb excess}$ (Bq/kg) dalam sampel tanah ditentukan berdasarkan perbandingan secara langsung dengan material standar sekunder. Aktivitas ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb excess}$ kemudian dikonversi menjadi aktivitas kumulatif per satuan luas (diistilahkan inventori isotop) dengan satuan Bq/m². Estimasi laju erosi dan deposisi ditentukan melalui persamaan keseimbangan massa yang disederhanakan (*simplified mass balance model/mass balance model*) (Walling dan Quine, 1995) dan dihitung menggunakan nilai inventori tiap titik. Informasi tersebut disertai parameter lain diinput ke dalam *software radiocalc*.

Perhitungan daerah yang mengalami erosi tanah ($A(t) < A_{ref}$), dengan asumsi laju erosi konstan R (mm/tahun), dan t adalah tahun pengambilan sampel, maka total inventori di lokasi dugaan (A , Bq/m²) yaitu:

$$A(t) = A_{ref} \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t-1963} \quad (1)$$

Persamaan (1) disusun ulang untuk menghitung laju erosi sehingga menjadi:

$$Y = \frac{10dB}{P} \left[1 - \left(1 - \frac{X}{100}\right)^{1/(t-1963)} \right] \quad (2)$$

dimana Y adalah laju erosi per tahun (ton/ha/tahun), d : kedalaman lapisan pengolahan tanah (m), B : bobot isi tanah (kg/m³), P : faktor koreksi ukuran partikel, X : persentase kehilangan total inventori ^{137}Cs (diperoleh dari $X = [(A_{ref} - A)/A_{ref}] \times 100$), A_{ref} : total inventori ^{137}Cs di titik lokasi pembandingan (Bq/m²).

Perhitungan daerah yang mengalami deposisi tanah ($A(t) > A_{ref}$), dengan asumsi laju deposisi konstan R' (kg/m²/tahun), laju deposisi sedimen dapat diduga berdasarkan konsentrasi ^{137}Cs dari sedimen yang terdeposisi $C_d(t')$ (Bq/kg):

$$R' = \frac{A_{ex}(t)}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} = \frac{A(t) - A_{ref}}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} \quad (3)$$

dengan $A_{ex}(t)$ = selisih inventori ^{137}Cs dari titik sampling terhadap inventori daerah pembanding pada tahun t (Bq m^{-2}); $C_d(t')$ = konsentrasi ^{137}Cs dari sedimen yang terdeposisi pada tahun t' (Bq kg^{-1}); λ = konstanta peluruhan untuk ^{137}Cs (/tahun); P' = faktor koreksi ukuran partikel. Sedimen yang terdeposisi $C_d(t')$ dihitung dengan persamaan:

$$C_d(t') = \frac{1}{\int_S R dS} \int_S P' C_e(t') R dS \quad (4)$$

dengan S (m^2) merupakan luas daerah hulu yang berkontribusi, dan $C_e(t')$ (Bq kg^{-1}) adalah konsentrasi ^{137}Cs dari sedimen yang ditransportasikan dari lokasi erosi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Inventori Lokasi Pembanding

Hasil pengukuran aktivitas isotop ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb excess}$ atau diistilahkan sebagai inventori dijadikan acuan untuk analisis kualitas maupun kuantitas isotop. Berdasarkan hasil penelitian, nilai inventori ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb excess}$ masing-masing sebesar 92.73 dan 3236.75 Bq/m^2 . Lokasi pembanding berupa hutan sekunder yang tutupan tajuknya tidak terlalu lebat/rapat dan tidak pernah terganggu dalam periode yang lama hingga puluhan tahun. *Fallout* ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb excess}$ diasumsikan masih bisa mencapai permukaan tanah dan masuk ke dalam profil tanah.

Erosi/Deposisi Dugaan di Lokasi yang Diuji dengan Isotop ^{137}Cs

Nilai aktivitas dan inventori yang mencirikan nilai cacahan isotop, dan erosi/deposisi dugaan di masing-masing transek penggunaan lahan ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan nilai laju erosi/deposisi neto disajikan pada Tabel 2. Suatu lokasi yang mengalami erosi tanah ditunjukkan oleh nilai cacahan atau aktivitas isotop yang lebih kecil daripada daerah pembanding (acuan/referensi). Sebaliknya, nilai cacahan atau aktivitas isotop di lokasi tertentu yang lebih besar daripada daerah pembanding menunjukkan proses deposisi tanah.

Berdasarkan nilai inventori isotop ^{137}Cs rata-rata di lahan terbuka yang lebih tinggi daripada di lokasi pembanding (hutan) menandakan adanya deposisi tanah. Hal ini dapat saja terjadi karena lokasi lahan terbuka yang berada di bagian paling bawah atau hilir dari keseluruhan transek. Nilai rata-rata inventori di lahan terbuka (216.99 Bq/m^2) lebih tinggi daripada daerah pembanding (92.73 Bq/m^2) sehingga mengindikasikan terjadinya deposisi tanah dengan nilai sebesar 71.06 ton/ha/tahun (Tabel 2). Analogi dengan pola inventori isotop seperti dari lokasi pembanding, terjadi penurunan nilai inventori isotop dari titik teratas (LT-1= 403.95 Bq/m^2) ke titik di bawahnya (LT-2= 353.80 Bq/m^2 dan LT-3= 8.32 Bq/m^2) bahkan nilai inventori isotop di LT-3 lebih rendah daripada di lahan pembanding (hutan, 92.73 Bq/m^2). Hal ini menunjukkan kehilangan atau erosi tanah juga per titik pengambilan contoh bahkan di titik LT-3 memang terjadi erosi tanah. Fenomena tersebut sesuai dengan definisi erosi tanah yaitu perpindahan tanah atau bagiannya dari satu titik/tempat ke titik/tempat lainnya oleh agen air (aliran permukaan) (Hudson, 1980; Arsyad, 2010) walaupun masa yang dipindahkan hanya sedikit.

Pola yang berbeda terjadi di penggunaan lahan tegalan dan kebun campuran, di mana nilai inventori isotop ^{137}Cs di kedua penggunaan lahan tersebut lebih rendah daripada di daerah pembanding (hutan alam). Hal ini menunjukkan kejadian erosi tanah di lahan tegalan dan kebun campuran. Nilai aktivitas dari isotop ^{137}Cs yang kecil yaitu mendekati 0 (nol) di lahan tegalan dan kebun campuran sejalan dengan pernyataan Ritchie *et al.* (2009), di mana nilai aktivitas dan inventori isotop ^{137}Cs di wilayah Indonesia sudah sangat mengecil saat ini.

Pada penggunaan lahan tegalan, nilai inventori ^{137}Cs di titik pengambilan sampel 1 (TG-1) menunjukkan nilai yang terkecil (36.71 Bq/m^2), kemudian meningkat di titik sampel dibawahnya (TG-2 = 63.39 Bq/m^2) dan menurun lagi di titik sampel lebih bawah (TG-3= 78.95 Bq/m^2 dan TG-4= 48.93 Bq/m^2). Suatu keniscayaan

bahwa tanah hasil erosi yang di titik TG1 terdeposisi di titik TG-2 tapi transportasi tanah tidak berlanjut ke titik TG-3 dan TG-4. Nilai rata-rata inventori ^{137}Cs di penggunaan lahan tegalan lebih kecil (56.98 Bq/m^2) daripada daerah pembanding (92.73 Bq/m^2) sehingga erosi tanah neto di lahan tegalan sebesar sebesar 29.01 ton/ha/thn .

Tabel 1 Hasil pengukuran ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb excess}$ di lokasi penelitian

Kode contoh tanah	Aktivitas (Bq/kg)		Inventori (Bq/m ²)		Erosi dan/atau deposisi (ton/ha/tahun)	
	^{137}Cs	$^{210}\text{Pb excess}$	^{137}Cs	$^{210}\text{Pb excess}$	$^{137}\text{Cs}^*$	$^{210}\text{Pb excess}^*$
Referensi (Hutan)	2.55	89.32	92.73	3236.75	-	-
Lahan terbuka						
LT-1	5.02	18.89	403.95	1520.03	274.24	-22.71
LT-2	4.25	14.39	353.80	1197.92	230.05	-30.02
LT-3	0.12	64.80	8.32	4492.24	-88.25	16.51
LT-4	1.19	35.63	101.91	3051.22	9.00	-1.75
Rata-rata			216.99	2565.35		
Tegalan						
TG-1	0.50	49.91	36.71	3681.32	-34.37	5.06
TG-2	0.80	610.13	63.39	48255.38	-14.18	511.92
TG-3	0.92	34.75	78.90	2978.86	-6.03	-2.46
TG-4	0.52	36.19	48.93	3384.12	-23.77	1.62
Rata-rata			56.98	14574.92		
Kebun campuran						
KC-1	0.59	56.94	28.86	2808.43	-33.04	-4.21
KC-2	0.53	66.11	36.67	4583.02	-26.32	19.95
KC-3	0.54	72.97	35.10	4774.04	-27.55	22.78
KC-4	0.56	48.49	36.27	3161.67	-26.63	-0.70
Rata-rata			34.23	3831.80		

*tanda (-) menunjukkan proses erosi tanah, (+) menunjukkan deposisi tanah

Tabel 2 Erosi dan/atau deposisi neto di lokasi penelitian.

Penggunaan Lahan	Erosi dan/atau deposisi neto (ton/ha/tahun)	
	^{137}Cs	$^{210}\text{Pb excess}$
Lahan terbuka (LT)	71.06	-10.50
Tegalan (TG)	-29.01	100.40
Kebun campuran (KC)	-33.00	2.40

Pada lahan kebun campuran, nilai inventori ^{137}Cs terendah (28.86 Bq/m^2) ditemukan di titik sampel 1 (KC-1), kemudian meningkat di titik-titik sampel bawah-bawahnya (KC-2= 36.67 Bq/m^2 , KC-3= 35.10 Bq/m^2 , KC-4= 36.27 Bq/m^2). Seperti halnya dengan fenomena di penggunaan lahan tegalan, hal ini menunjukkan telah terjadi erosi tanah pada titik KC-1 kemudian terdeposisi di titik-titik dibawahnya (KC-2, -3, -4). Nilai rata-rata inventori ^{137}Cs di penggunaan lahan kebun campuran lebih kecil (34.23 Bq/m^2) daripada daerah pembanding (92.73 Bq/m^2) sehingga erosi tanah neto di lahan tegalan sebesar sebesar 33.00 ton/ha/thn .

Secara konsep dan fenomena yang semestinya terjadi, dapat dipastikan erosi tanah terjadi lebih besar di tanah terbuka daripada lahan tegalan, dan erosi tanah di lahan tegalan lebih besar daripada di lahan kebun campuran, karena perbedaan tutupan tajuk ketiga penggunaan lahan tersebut. Konsep ini bertolak belakang dengan temuan nilai inventori isotop ^{137}Cs . Aktivitas Cs-137 lebih sulit diukur di belahan bumi bagian selatan daripada belahan bumi utara, karena aktivitas deposisi yang kecil dan akibat peluruhan radioaktif, serta tidak

adanya lagi masukan dari alam (Walling dan He, 1999). Terlebih, aktivitas jatuhnya ^{137}Cs per satuan luas area (inventori) di daerah tropis lebih kecil daripada daerah subtropis sehingga pengembangan dan pengaplikasian metode isotop ^{137}Cs di Indonesia tidak mudah (Aliyanta, 2007).

Erosi/Deposisi Dugaan pada Lokasi yang Diuji dengan Isotop ^{210}Pb Excess

Secara umum hampir tidak ada pola yang nyata seperti uji isotop ^{137}Cs di setiap jenis penggunaan lahan. Nilai inventori isotop ^{210}Pb excess di setiap titik sampel dalam jenis penggunaan lahan yang sama tidak konsisten, lebih tinggi atau lebih rendah semua daripada nilai inventori lahan pembanding (hutan). Namun dapat dikatakan bahwa nilai inventori isotop ^{210}Pb excess lahan terbuka lebih kecil daripada pembanding, sedangkan nilai inventori isotop ^{210}Pb excess lahan tegalan dan kebun campuran lebih besar daripada lahan pembanding (Tabel 1).

Nilai inventori isotop ^{210}Pb excess setiap titik sampel di lahan terbuka (LT-1, LT-2, LT-4) menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada nilai lokasi pembanding (3236.75 Bq/m^2) kecuali titik LT-3 yang sebesar 4492.24 Bq/m^2 sehingga rata-rata nilai inventori isotop ^{210}Pb excess (2565.35 Bq/m^2) lebih rendah daripada nilainya di lahan pembanding. Dengan demikian, nilai rata-rata erosi tanah neto dugaan di lahan terbuka sebesar 10.50 ton/ha/thn (Tabel 2) yang belum melebihi erosi yang masih dapat diizinkan, sekitar 40 ton/ha/thn . Pada umumnya, tanah sangat mudah rusak pada lahan yang terbuka dikarenakan energi butir hujan dan juga aliran permukaan. Secara teori dikemukakan bahwa ^{210}Pb excess turun ke permukaan tanah bersamaan dengan air hujan atau menempel pada debu mineral yang beterbangan di udara (Walling *et al.*, 1999). ^{210}Pb excess di dalam tanah akan diadsorpsi partikel tanah yang halus dan bermuatan (klei) secara kuat, sehingga dapat dijadikan sebagai perunut pergerakan tanah oleh aliran permukaan (Matisoff, 2014) yang lebih mudah terjadi di lahan terbuka tanpa tutupan vegetasi.

Nilai inventori isotop ^{210}Pb excess di lahan tegalan (kecuali di titik TG-3 = 2978.86 Bq/m^2) lebih besar daripada lokasi pembanding (3236.75 Bq/m^2) dan secara rata-rata nilai inventori isotop (14574.92 Bq/m^2) masih jauh lebih tinggi dari nilai inventori di lokasi pembanding sehingga deposisi tanah neto dugaan sebesar $100.40 \text{ ton/ha/thn}$. Deposisi tanah di lahan tegalan lebih beragam dan besar di titik-titik *sampling* dimungkinkan karena kegiatan pengolahan tanah yang berulang-ulang dan partikel tanah yang halus (*clay*) lebih mudah terangkut oleh aliran permukaan.

Sejalan dengan proses deposisi tanah di lahan tegalan, nilai inventori isotop ^{210}Pb excess di lahan kebun campuran menunjukkan lebih banyak deposisi dari pada erosi tanah walaupun nilainya tidak setinggi di lahan tegalan. Nilai rata-rata inventori isotop ^{210}Pb excess di lahan kebun campuran sebesar 3831.80 Bq/m^2 sehingga deposisi tanahnya menjadi 2.40 ton/ha/thn yang jauh lebih kecil daripada deposisi tanah di lahan tegalan ($100.40 \text{ ton/ha/thn}$). Pengolahan tanah di lahan kebun campuran tidak intensif bahkan tanah permukaannya tidak terganggu daripada di lahan tegalan. Deposisi tanah di lahan kebun campuran yang rendah atau sedikit tanah yang dideposisikan dipengaruhi oleh erosi tanah aktual yang rendah. Hal ini didukung oleh tutupan vegetasi di lahan kebun campuran lebih rapat/lebat sebagai filter sedimen daripada lahan tegalan.

Berdasarkan temuan nilai aktivitas dan inventori isotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb excess di setiap jenis penggunaan lahan dalam penelitian ini, aplikasi isotop ^{210}Pb excess lebih memadai dalam pendugaan erosi/deposisi tanah di Ciliwung Hulu bahkan bisa jadi di Indonesia.

SIMPULAN

Teknik perunut *Fallout Radionuclides* dapat digunakan untuk pendugaan erosi dan deposisi tanah. Nilai pengukuran radionuklida sangat ditentukan oleh keberadaannya secara alami dalam tanah, baik lama waktu deposisi maupun besaran energi pancarannya.

Penggunaan isotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb excess sebagai penduga erosi tanah menunjukkan pola yang berbeda pada ketiga jenis penggunaan lahan. Penggunaan isotop ^{137}Cs menunjukkan erosi tanah di lahan kebun campuran dan tegalan, tetapi deposisi tanah terjadi di lahan terbuka. Hal sebaliknya, aplikasi isotop ^{210}Pb

excess menunjukkan deposisi tanah di lahan kebun campuran dan tegalan, tetapi erosi tanah terjadi di lahan terbuka. Isotop ^{210}Pb *excess* lebih tepat merepresentasikan nilai pencacahan dari pada ^{137}Cs di Sub DAS Ciesek, karena deposisi ^{137}Cs tidak optimal Sub DAS Ciesek yang terletak di lintang selatan katulistiwa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada OGFICE (*Osaka GAS Foundation of International Cultural Exchange*) Japan atas dana hibah penelitian “Grant OGFICE of year 2018/2019 yang diberikan melalui Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, IPB.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPDAS Citali] Balai Pengelolaan DAS Citarum Ciliwung. 2002. *Kondisi DAS Ciliwung*. Bogor (ID): Kementerian Kehutanan, Direktorat Jenderal Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial, Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Citarum Ciliwung.
- [IAEA] International Atomic Energy Agency. 2014. *Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies* (IAEA-TecDoc-1741). Vienna (AT): IAEA.
- Aliyanta B. 2007. Model estimasi aktivitas Cs-137 dalam contoh tanah melalui persentase organik karbon dan debu-liat. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 3(2): 11-24.
- Aliyanta B. 2015. Kajian komparatif parameter kualitas tanah di beberapa tataguna lahan Sub DAS Cisadane Hulu dengan Pb-210 *excess* dan Cs-137. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 11(2): 113-124.
- Aliyanta B, Sugiharto U, Adhari A. 2019. Laju erosi di Sub DAS Cianten berdasarkan Cs-137 dan Pb-210 Excess dan kontribusinya pada sedimen suspense di Tamlung. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 15(2): 117-128.
- Arsyad S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor (ID): IPB Pr.
- Bernard C, Mabit L. 2005. The Use of Radionuclides Techniques In Soil Erosion Studies [Internet]. [diunduh 2018 Juli 7]. Tersedia pada: <http://www-naweb.iaea.org/nafa/swmn/soil-science>.
- Fathiyah I. 2013. Aliran permukaan, erosi, dan kehilangan hara pada pertanaman sayuran di Desa Sukaresmi, Kecamatan Megamendung, Kabupaten Bogor [tesis]. Bogor (ID): IPB.
- Fitri R. 2018. Prediksi erosi pada lahan petani agroforestri di DAS Ciliwung Hulu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Agrosains dan Teknologi* 3(1): 13-18.
- Gaspar L, Navas A, Walling DE. 2013. Using ^{137}Cs and ^{210}Pb Ex to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. *Catena*. 102: 46-54.
- Hudson NW. 1980. Erosion prediction with insufficient data. In Boodt MD, Gabriels D (Eds). *Assessment of Erosion*. New York (US): Wiley.
- Kato H, Onda Y, Tanaka Y. 2010. Using ^{137}Cs and ^{210}Pb Ex measurements to estimate soil redistribution rates on semi-arid grassland in Mongolia. *Geomorphology*. 114(4): 508-519.
- Mabit L, Chhem-Kieth S, Dornhofer P, Toloza A, Benmansour M, Bernard C, Fulajtar E, Walling DE. 2014. ^{137}Cs : A widely used and validated medium term soil tracer. Di dalam: IAEA Tecdoc Series (IAEA-Tecdoc-1741). *Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies*. Vienna (AT): IAEA.
- Matisoff G. 2014. ^{210}Pb as a tracer of soil erosion, sediment source area identification and particle transport in the terrestrial environment. *J Envi Radioactivity*. 138: 343-354.
- Murtalaksono K. 2013. *Penyelarasan Implementasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai di Indonesia*. Bogor (ID): IPB Pr.
- Nuraida, Rachman LM, Baskoro DPT. 2016. Analisis nilai konservasi tinggi aspek pengendali erosi dan sedimentasi (HCV 4.2) di DAS Ciliwung Hulu. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 6(2): 151-159. doi: 10.19081/jpsl.6.2.151.

- Porto P, Walling DE. 2012. Validating the use of ^{137}Cs and ^{210}Pb Ex measurements to estimate rates of soil loss from cultivated land in Southern Italy. *J Environ. Radioact.* 106: 47-57.
- Rabesirana N, Rasolonirina M, Solonjara AN, Rayoson HN, Andriambololona R, Mabit L. 2016. Assessment of soil redistribution rates by ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ in a typical Malagasy agricultural field. *J Environ Radioactiv.* 152: 112-118.
- Ritchie JC, Nearing MA, Rhoton FE. 2009. Sediment budgets and source determinations using fallout Cesium-137 in a semiarid rangeland watershed, Arizona, USA. *J Environ Radioactiv.* 100: 737-643.
- Santoso AD, Damayanti A, Hafidz A. 2019. Analysis of erosion hazard in upstream Ciliwung watershed Bogor, West Java, Indonesia. Di dalam: Visessri S, Koontanakulvong S, editor. *Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food Nexus and SDG's. Proceeding THA 2019 International Conference*; 2019 January 23-25; Bangkok, Thailand. Bangkok (TH): THA 2019 Proceedings.
- Suhartini N, Alyanta B. 2007. Studi distribusi erosi/deposisi tanah menggunakan isotop alam ^{137}Cs di Daerah Aliran Sungai Besai Hulu – Lampung. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi.* 8(1): 52-71.
- Poel VD, Subagyono K. 1998. *The use of USLE in the RTL Process.* Bogor (ID): National Watershed Management and Conservation Project.
- Walling DE, Quine TA. 1995. The use of fallout radionuclides in soil erosion investigations. Di dalam: *Nuclear Techniques in Soil-Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation, Proceedings of a Symposium*; 1994 October 17-21; Vienna, Austria. Vienna (AT): IAEA & FAO.
- Walling DE, He Q. 1999. Using fallout lead-210 measurement to estimate soil erosion on cultivated land. *Soil Sci Soc America J.* 63: 1404-1412.
- Walling DE, Zhang Y, He Q. 1999. *Models for Converting Radionuclide (^{137}Cs , Excess ^{210}Pb , and ^7Be) Measurement to Estimates of Soil Erosion and Deposition Rates (Including Software for Model Implementation).* Exeter (UK): University of Exeter.
- Wise SW. 1980. Caesium-137 and Lead-210: a review of techniques and some applications in geomorphology. Di dalam: Cullingford RA, Davidson DA, Lewin J, editor. *Timescales in Geomorphology.* New York (US): Wiley.
- Zhang Qw, Li Y. 2014. Effectiveness assessment of soil conservation measures in reducing soil erosion in Baiquan Country of Northeastern China using ^{137}Cs techniques. *Environ Sci: Processes Impacts.* 16: 1480-1488.