

Laju Erosi di Sub DAS Cianten Berdasarkan Cs-137 dan Pb-210 *Excess* dan Kontribusinya pada Sedimen Suspensi di Tamilung

Soil Erosion Rate in Cianten Sub-watershed Based on Cs-137 and Pb-210 Excess and Their Contribution to the Suspension Sediment in Tamilung

B. Aliyanta*, U. Sugiharto, A. Adhari

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

* E-mail: barali@batan.go.id

ABSTRAK

Erosi tanah merupakan bentuk degradasi lahan yang terus berlangsung di kebanyakan daerah Indonesia. Estimasi kuantitatif laju erosi diperlukan untuk mengkaji keefektifan usaha konservasi yang ada. Sampel tanah diambil melalui 7 transek dan 5 transek yang mewakili tata guna lahan kebun/perkebunan dan tata guna lahan ladang di sub DAS Cianten. Hasil estimasi laju erosi dari tata guna lahan kebun/perkebunan mempunyai rentang nilai -14,6 ton/ha/th sampai -32,20 ton/ha/th dan rata-rata laju erosinya adalah -23,20 ton/ha/th berdasarkan pada Cs-137, dan mempunyai nilai dari -13,50 ton/ha/th sampai -36,33 ton/ha/th, dengan rata-rata -24,74 ton/ha/th berdasarkan Pb-210 *excess*. Hasil estimasi laju erosi lahan ladang bervariasi dari -16,24 ton/ha/th sampai -37,33 ton/ha/th, dengan rata-rata -26,52 ton/ha/th berdasarkan Cs-137; dan bervariasi dari -22,23 ton/ha/th sampai -33,83 ton/ha/th, dengan rata-rata -27,33 ton/ha/th berdasarkan Pb-210 *excess*. Laju erosi setiap titik dalam transek masih jauh lebih besar dari nilai erosi yang dapat ditoleransi menunjukkan usaha konservasi yang ada di sub DAS Cianten dirasakan belum cukup efektif untuk mencegah erosi. Lahan tanah di sub DAS Cianten berkontribusi ke dalam suplai sedimen suspensi di Tamilung sebesar 24450 ton/th, dengan 6621,9 ton/th berasal dari perkebunan/lahan kebun dan 17828,1 ton/th berasal dari ladang.

Kata kunci : laju erosi, Cs-137, Pb-210 *excess*, sub DAS Cianten, sedimen suspensi

ABSTRACT

Soil erosion is a form of land degradation occurring in most parts of Indonesia. Quantitative estimations of erosion rates are needed to assess the effectiveness of existing conservation efforts. Soil samples were collected through 7 transects and 5 transects representing plantation and farming areas respectively in the Cianten sub-watershed. The Cs-137-based estimation of erosion rates from the plantation area ranged from -14.60 tons/ha/yr to -32.20 tons/ha/yr with an average of -23.20 tons/ha/yr. Whilst, the Pb-210 excess-based estimation ranged from -13.50 tons/ha/yr to -36.33 tons/ha/yr, with an average of -24.74 tons/ha/yr. The Cs-137-based estimation of erosion rates from farming area varied from -16.24 tons/ha/yr to -37.33 tons/ha/yr, with an average of -26.52 tons/ha/yr. Whilst, the Pb-210 excess-based estimation varied from -22.23 tons/ha/yr to -33.83 tons/ha/yr, with an average of -27.33 tons/ha/yr. The erosion rate at each point of the transect is still much greater than the tolerable threshold. It is shown that conservation efforts in the Cianten sub-watershed have not been sufficiently effective to prevent soil erosion. The land in the Cianten sub-watershed contributes to the suspended sediment supply in Tamilung of 24450 tons/yr, with 6621.9 tons/yr and 17828.1 tons/yr coming from plantation and farmland respectively.

Keywords : erosion rate, Cs-137, Pb-210 *excess*, Cianten sub-watershed, suspension sediment

PENDAHULUAN

Bentuk paling umum dari degradasi tanah adalah erosi tanah. Degradasi tanah yang disebabkan oleh aktivitas manusia ini, kini telah menjadi persoalan utama di daerah lahan berlereng di Indonesia umumnya, dan di Pulau Jawa khususnya, bahkan di kebanyakan negara berkembang di dunia. Hal ini karena tekanan ekonomi dan kebutuhan akan lahan yang terus mendesak ke arah daerah lahan berlereng cukup curam, yang disebabkan adanya alih tata guna lahan, sementara di lahan yang relatif rendah kemiringannya untuk tempat tinggal. Erosi tanah merupakan permasalahan global yang serius, sehingga informasi terkait dengan status erosi tanah di berbagai tempat menjadi perhatian utama ahli tanah dunia dan para pemerhati lingkungan. Hal ini menyangkut, ketersediaan lahan untuk pertanian yang semakin hari semakin menyempit, sedangkan kebutuhan akan pangan semakin meningkat dengan adanya penambahan penduduk. Oleh karenanya, daerah lereng yang kurang sesuai untuk kegiatan pertanianpun banyak dieksploitasi untuk memenuhi kebutuhan tersebut, meskipun berakibat adanya percepatan erosi.

Adanya erosi tinggi pada lahan berlereng di hulu, produktivitas lahan menjadi rendah karena terangkutnya unsur hara yang ada di permukaan tanah. Disamping itu, erosi tanah juga akan berdampak secara signifikan pada penurunan kualitas air sungai di daerah hilir, yang juga akan mengancam kualitas lingkungan dan juga kegiatan pertanian berkelanjutan[1]. Proses erosi tanah dimulai dari terlepasnya partikel tanah akibat tetes air hujan dan butiran tanah bergerak karena aliran limpasan air hujan menuju ke tempat lebih rendah atau dalam sistem aliran air menuju jaringan utama sungai dan akan mengendap di suatu tempat bila tidak ada cukup energi lagi untuk mengangkutnya. Oleh karenanya, pemahaman dinamika tanah tererosi pada suatu lanskap merupakan dasar utama untuk merancang tahapan dan langkah-langkah pengendalian erosi dan untuk membangun pertanian berkelanjutan, melindungi habitat perairan dan pendangkalan serta untuk memprediksi perubahan lanskap di masa depan [2]. Salah satu teknik untuk memahami dinamika tanah tererosi adalah memanfaatkan teknik radionuklida jatuhnya. Ada 3 macam radionuklida yang telah berkembang pesat dan dimanfaatkan untuk mengestimasi laju redistribusi tanah berupa

laju erosi-deposisi yaitu Cs-137, Pb-210 excess [3], [4], [5] dan Be-7 [6], [7].

Teknik radionuklida Cs-137 telah terbukti menjadi alat yang cukup efektif untuk mengkaji dinamika transpor butiran tanah atau redistribusi tanah disebabkan oleh air dan pengolahan tanah sejak 55 tahun lalu dalam cakupan lingkungan yang bervariasi [8], [9], [10]. Cs-137 merupakan isotop radioaktif yang berasal dari lepasan akibat percobaan senjata nuklir pada dekade 1950-an sampai 1970-an, dan secara global telah terdeposisi ke permukaan tanah. Cs-137 mempunyai waktu paruh 30,2 tahun dan melekat sangat kuat pada partikel penyusun tanah, sehingga dapat digunakan untuk mempelajari proses redistribusi tanah selama kurun waktu medium [11]. Dibandingkan dengan belahan bumi bagian utara, aktivitas Cs-137 di belahan bumi bagian selatan jauh lebih kecil. Di belahan bumi selatan, disamping karena telah meluruh karena waktu dan tidak ada lagi masukan sehingga memungkinkan untuk daerah yang tererosi cukup tinggi akan menjadi lebih sulit dideteksi aktivitasnya. Fakta ini sering menjadi kendala dalam memanfaatkan teknik Cs-137 dalam penelitian erosi, meskipun dapat diusahakan dengan memperpanjang waktu pengukuran [12].

Kendala pemanfaatan teknik Cs-137 untuk studi erosi ini, dapat dilengkapi dengan perkembangan teknik Pb-210 excess untuk estimasi laju erosi di belahan bumi selatan seperti Indonesia ini. Pb-210 excess merupakan radionuklida lingkungan yang berasal dari peluruhan induk U-238 yang ada di alam. Isotop U-238 terdapat dalam kerak bumi dengan kelimpahan 99,274%, sedangkan isotop lain yaitu U-235 dan U-234 berturut-turut dengan kelimpahan 0,72% dan 0,06%. Pb-210 excess mempunyai waktu paruh 22,26 tahun dan meluruh menjadi Bi-214 dengan memancarkan partikel beta [13]. Keberadaan Pb-210 excess dalam udara dimulai dengan peluruhan Ra-226 yang berasal dari U-238 dalam kerak bumi menjadi gas Rn-222 yang berdifusi ke udara dengan rata-rata 42 atom/menit/cm² luasan permukaan tanah. Rn-222 mempunyai waktu paruh 3,8 hari dan meluruh melalui deretan anak luruhnya menjadi Pb-210 [14]. Ada dua sumber pokok Pb-210 yaitu berasal dari udara sebagai partikel aerosol yang beterbangan yang sering disebut sebagai Pb-210 unsupported/excess dan dari tanah itu sendiri yang disebut sebagai Pb-210 supported. Pb-210 excess akan diproduksi secara terus menerus dan aktivitas

jatuhnya tidak bergantung pada waktu tetapi bergantung pada jenis batuan/tanah setempat [15].

Dengan semakin terbatas dan tertekannya pemanfaatan lahan untuk kegiatan pertanian, maka pengelolaan lahan di wilayah sub DAS Cianten menjadi penting untuk menjamin kegiatan pertanian yang berkelanjutan. Untuk itu, diperlukan penelitian untuk mengetahui status erosi lahan dalam cakupan sub DAS Cianten dan beberapa kaitannya dengan kontribusi sedimen suspensi yang berasal dari sub DAS Cianten secara kuantitatif. Status erosi di lahan dapat ditentukan dengan Cs-137 maupun Pb-210 *excess* untuk mengkaji keefektifan langkah konservasi yang diambil. Selain itu, menggunakan data kontribusi sedimen dominan yang dilaporkan oleh Barokah dkk, dimana titik *outlet* DAS Cisadane Hulu diasumsikan terletak pada daerah Serpong, dan pengukuran sedimen suspensi di desa Tamilung [16]. Menggunakan beberapa asumsi laju sedimentasi di daratan banjir dan luas daerah deposisi serta data sekunder lain, untuk mengestimasi suplai sedimen ke aliran sungai utama (di desa Tamilung) yang berasal dari tata guna lahan kebun/perkebunan maupun berasal dari ladang di sub DAS Cianten sebagai salah satu sumber erosi potensial.

Dengan tujuan utama penelitian adalah untuk mengetahui keefektifan usaha konservasi yang telah diterapkan berdasarkan estimasi laju erosi dengan menggunakan metode Cs-137 dan Pb-210 *excess*. Di samping itu, untuk dapat mempelajari lebih jauh potensi penggunaan Pb-210 *excess* dalam pengembangan studi erosi di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian adalah kawasan sub DAS Cianten yang merupakan bagian dari wilayah DAS Cisadane. Luas keseluruhan sub DAS Cianten berkisar 42324 ha. Bagian hulu sub DAS Cianten terdapat Gunung Kendeng dengan puncak tertingginya adalah 1749 m dpl dan Gunung Salak dengan puncak tertingginya adalah 2211 m dpl. Aliran air yang berasal dari Gunung Kendeng mengalir melewati sungai Cikaniki dan bergabung dengan sungai Cianten yang berasal dari Gunung Salak, bertemu di desa Cijujung, Kecamatan Cibungbulan Kabupaten Bogor. Berkisar 40,5% wilayah sub DAS Cianten berada pada ketinggian 500-1000 m dpl atau seluas 17,121 ha. Pola

sebaran curah hujan di DAS Cisadane, tidak merata. Curah hujan (CH) paling tinggi terdapat di bagian hulu, sekitar Sub DAS Cisadane Hulu, semakin ke daerah hilir jumlah curah hujan semakin berkurang. Hasil interpolasi dari 13 stasiun CH yang dikelola PSDA, diperoleh bahwa di sub DAS Cisadane Hulu, CH berkisar antara 2957-4115 mm dengan rata-rata sekitar 3395 mm. Selanjutnya di sub DAS Cianten berkisar antara 2457-3275 mm dengan rata-rata 2831 mm.

Akumulasi air yang hilang sebagai *run off* di DAS Cisadane dalam setahun sekitar 4627 mm (1,834 juta m³). Jumlah tersebut terbagi-bagi di setiap sub DAS. Dari sub DAS Cianten berkisar 147-3142 mm, rata-rata sekitar 1082 mm (457,9 juta m³). Rata-rata rasio *run off* terhadap CH sekitar 37%. Dari sub DAS Cisadane Hulu berkisar 205- 4115 mm, rata-rata sekitar 1588 mm (680,3 juta m³). Rata-rata rasio *run off* terhadap CH sekitar 43% [17].

Lokasi penelitian ini adalah wilayah sub DAS Cianten, dan dipertimbangkan sebagai sumber sedimen potensial yang mengalir ke aliran utama sungai Cisadane terdiri dari 2 tata guna lahan yaitu tata guna lahan kebun/perkebunan yang ditanami tanaman secara tumpangsari dan tata guna lahan ladang.

Pengambilan sampel tanah

Pengambilan sampel tanah untuk penelitian ini adalah dibagi menjadi dua yaitu pengambilan sampel tanah pada lokasi pembanding dan pada lokasi yang merupakan sumber erosi potensial. Lokasi pembanding merupakan hal yang sangat penting dalam penelitian menggunakan teknik radionuklida jatuhnya karena dari tempat ini akan didapatkan nilai inventori yang diperlakukan sebagai nilai acuan baik untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif.

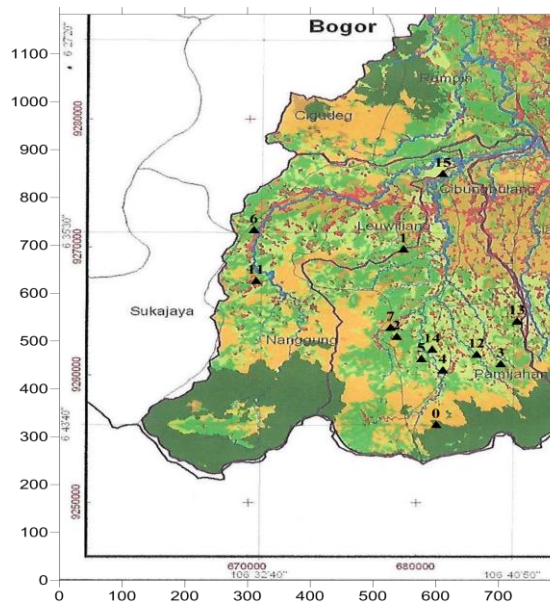
Pengambilan sampel tanah di lokasi pembanding

Untuk mengkaji redistribusi tanah, nilai inventori ini umumnya ditemukan pada lokasi pembanding yaitu lokasi-lokasi yang belum terganggu atau lokasi yang mengalami gangguan sesedikit mungkin. Untuk menentukan laju erosi dalam sub DAS Cianten, nilai inventori dari radionuklida fallout yang dapat dijadikan referensi yaitu pada lokasi Hutan pinus di daerah Pasir Jaya dengan koordinat 06° 43' 06" S dan 106° 46' 57" T. Untuk melakukan analisis laju erosi dilakukan pengambilan sampel dengan alat *scrap* secara

profil dengan interval 2 cm sampai kedalaman 20 cm. Disekitar titik pengambilan sampel profil kedalaman tersebut, diambil sampel tanah menggunakan alat *core* dengan kedalaman 20 cm sebanyak 4 buah. Pengambilan sampel dengan cara ini bertujuan untuk mendapatkan nilai inventori pembandingan yang diwakili oleh nilai rata-rata keempat *core* [12] dan 1 sampel profil.

Pengambilan sampel tanah *coring* pada sumber erosi potensial

Pengambilan sampel tanah pada sumber erosi potensial dilakukan pada dua jenis tata guna lahan yaitu kebun campuran/perkebunan dan ladang yang berada dalam kawasan sub DAS Cianten dan dilakukan secara transek. Pengambilan sampel dilakukan secara transek dari tata guna lahan yang ada baik untuk sampel tanah pada kebun campuran maupun ladang dengan kedalaman sampel *core* 20 cm. Ringkasan lokasi dan tempat pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1 berikut.



Gambar 1. Lokasi sampling di sub DAS Cianten, lokasi pembandingan (0), kebun (1-7) ladang (11-15)

Tabel 1. Lokasi transek pengambilan sampel tanah *coring* dengan kedalaman 20 cm

Kebun Campuran			Lokasi Ladang		
No.	Lokasi Transek	Jumlah Sampel	No.	Lokasi transek	Jumlah Sampel
1	Leuwiliang	3	11	Ds. Curug Bitung	3
2	Cibeber	4	12	Ds. Purwasari	3
3	Ds Gn. Pincung	3	13	Ds. Gn. Bunder	3
4	Ds. Purwakbakti	3	14	Ds. Ciasmara	3
5	Ds. Cibunian	7	15	Karehel	4
6	Ds Nanggung	3			
7	Pasir Ripis	2			

Preparasi sampel tanah dan pengukuran

Di Laboratorium, sampel tanah dikeringkan, digerus/dihaluskan, diayak lolos 1 diameter mm dan ditimbang seberat 400 g ditempatkan pada wadah khusus yang telah disiapkan. Sampel tersebut ditutup rapat dan disimpan selama kurang lebih sebulan sebelum dilakukan pengukuran aktivitas Pb-210 total, Pb-210 *supported* dan Cs-137 dengan MCA (*Multi Channel Analyzer*). Dimana, Pb-210 total merupakan jumlah dari aktivitas Pb-210 *unsupported/excess* (jatuhan) dan Pb-210 *supported* yang berasal dari masing-masing tanah serta Cs-137 merupakan radionuklida jatuhan akibat percobaan senjata nuklir. Aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* diukur dengan menggunakan detektor sinar gamma LEGe (*Low Energy Germanium*) dengan efisiensi relatif

30% dan resolusi energi 1,86 keV. Detektor telah dikalibrasi dengan standar sampel dengan geometri yang relatif sama dengan sampel yang diukur. Emisi sinar gamma dari Cs-137 (661,6 keV), Pb-210 total (46,5 keV) dan Pb-210 *supported* (351,9 keV energi dari Pb-214). Adapun lamanya pengukuran berkisar dari 18 jam sampai 48 jam, dengan kesalahan pengukuran berkisar 8% sampai 14% untuk Pb-210 dan 15% sampai 50% untuk Cs-137, dengan 95% selang kepercayaan. Aktivitas Pb-210 *unsupported* atau *excess* diperoleh dengan mengurangkan dari aktivitas Pb-210 total dengan aktivitas Ra-226. Aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* dinyatakan dalam satuan Bq/kg, dan aktivitas per satuan luasnya dinyatakan dengan inventori (Bq/m²) [18].

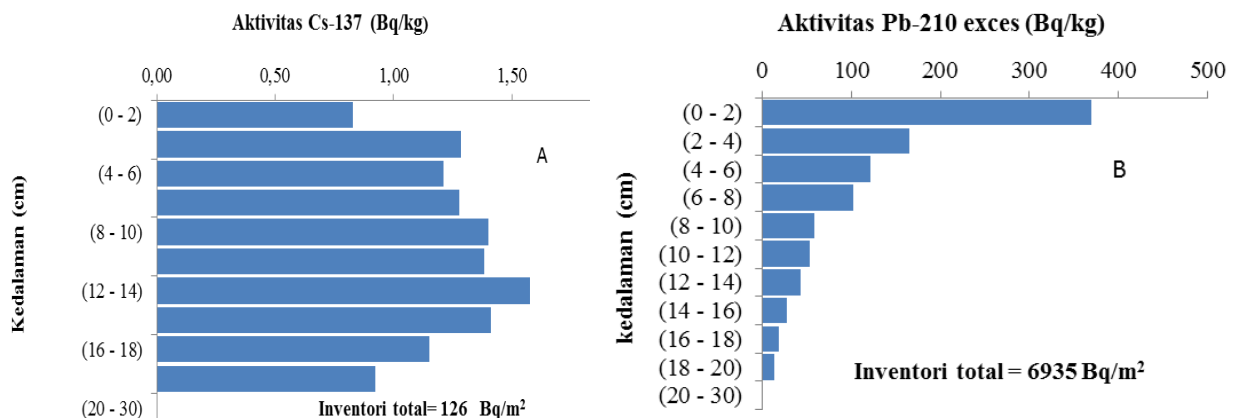
HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* di lokasi pembanding

Lokasi pembanding terletak di kawasan hutan pinus yang berada di Desa Pasir Jaya ($06^{\circ} 43' 06''$ LS dan $106^{\circ} 46' 57''$ BT). Lokasi pembanding ini memiliki tutupan permukaan lahan yang baik yaitu berupa rerumputan dan berada pada lahan yang cukup datar. Pengambilan sampel tanah di lokasi pembanding dilakukan pada satu lokasi dengan menggunakan alat *scraper* dengan interval kedalaman 2 cm dari permukaan tanah sampai kedalaman 20 cm. Tujuan pengambilan sampel tanah dengan *scraper* ini adalah untuk mendapatkan profil aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* terhadap kedalaman tanah. Di sekitar lokasi pengambilan dengan *scraper* juga dilakukan pengambilan sampel tanah menggunakan alat *core* dengan kedalaman 20 cm sebanyak 4 titik. Pengambilan beberapa titik sampel tanah dengan alat *core* ini bertujuan untuk mendapatkan nilai representasi aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* yang akan dijadikan sebagai pembanding. Hasil pengukuran aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* terhadap kedalaman sampel secara profil dapat dilihat pada Gambar 2, dan data aktivitas pada 4 sampel *coring* berkedalaman 20 cm lainnya dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Gambar 2 (A) dan 2(B) terlihat bahwa profil aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* menunjukkan

bentuk yang berbeda. Bentuk profil aktivitas Cs-137 dapat dikatakan relatif merata dari permukaan sampai kedalaman 20 cm, sedangkan profil aktivitas Pb-210 *excess* cenderung eksponensial.

Perbedaan antara keduanya ini menginformasikan kepada kita bahwa lokasi lahan yang disampling ini bukanlah merupakan lokasi *undisturbed* atau belum pernah terganggu sama sekali. Dari kedua bentuk profil ini menggambarkan tempat ini pernah diolah. Dari profil Cs-137, dimana masukan dari *fallout* Cs-137 tidak ada lagi sejak sekitar 1963/64, sehingga perubahan bentuk yang signifikan dari bentuk yang cenderung eksponensial menjadi relatif merata di semua kedalaman. Hal ini terkonfirmasi dengan jelas bahwa pada profil Pb-210 *excess* menunjukkan bentuk eksponensial dan relatif menuju ke nol pada kedalaman 20 cm. Dari kedua gambar tersebut, dapat dipertimbangkan bahwa lokasi ini pernah diolah beberapa tahun lalu (cukup lama) sehingga profil Cs-137 terhadap kedalaman relatif sama. Tanah yang tidak diolah lagi, akan tetap meninggalkan profil Cs yang relatif sama karena aktivitas tiap lapisan mengalami penurunan akibat waktu paruh, akan tetapi profil Pb-210 *excess* yang senantiasa dapat masukan dari *fallout* secara terus menerus, terdispersi ke dalam lapisan tanah dan secara keseluruhan membentuk profil eksponensial lagi.



Gambar 2. Profil aktivitas Cs-137 (A) dan Pb-210 *excess* (B)

Tabel 2. Aktivitas serta inventori Cs-137 dan Pb-210 *excess* pada sampel *coring*

No.	Aktivitas Cs-137 (Bq/kg)	Aktivitas Pb-210ex (Bq/kg)	Inventori Cs-137 (Bq/m ²)	Inventori Pb-210ex (Bq/m ²)
1	1,4	59,86	233,07	29,03
2	1,35	44,07	210,62	18,67
3	1,10	25,99	182,11	14,73
4	1,36	55,10	233,19	30,56
5		<i>Scrapper</i>	126	6935
		Rata-rata inventori	197	7420
		Standard deviasi	39,96	1932,92
		Koefisien variasi (%)	20,3	26
		<i>Standard Error of the mean</i>	8,0	386,58

Dari Tabel 2 terlihat bahwa untuk lokasi pembanding ini mempunyai koefisien variasi sebesar 20,3% dan 26% masing-masing untuk Cs-137 dan Pb-210 *excess*. Menurut Shutterland dalam [11], koefisien variasi Cs-137 disebabkan oleh beragamnya variabilitas densitas tanah, kapasitas infiltrasi, rekahan, bebatuan, tutupan vegetasi dan akar. Berdasarkan hal ini, disarankan bahwa sampel untuk inventori lokasi pembanding mempunyai koefisien variasi yang tidak melebihi 30%. Nilai koefisien variasi Cs-137 maupun Pb-210 *excess* lebih kecil dari nilai maksimal yang disarankan oleh Shutterland. Besarnya nilai pembanding Cs-137 yang diperoleh adalah 197 Bq/m². Dengan menggunakan selang kepercayaan 95% dan menggunakan data pada Tabel 2, maka nilai inventori untuk Cs-137 dapat dinyatakan dengan $(197 \pm 1,96 \text{ standard error of the mean})$ Bq/m² yaitu $(197 \pm 15,68)$ Bq/m². Nilai inventori pembanding Cs-137 ini didasarkan perhitungan pada tahun 2013.

Nilai inventori ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil beberapa penelitian yang terletak di belahan bumi utara seperti Kalumpang, Baganuur, Spanyol dan Salihli Turki, serta tidak terlalu besar perbedaannya dengan lokasi di belahan bumi Selatan yaitu Nganjuk dan Malagasi-Madagaskar, seperti dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai ini sesuai dengan pola jatuhnya Cs-137 secara global yang disebabkan terjadi karena percobaan senjata nuklir pada kurun waktu 1950 sampai 1970-an, dan sebagian besar dilakukan di belahan bumi utara, sehingga inventori di belahan

bumi utara jauh lebih besar dibanding belahan bumi selatan [19].

Hasil pengukuran Pb-210 *excess* dari penelitian ini mempunyai nilai yang relatif besar dibandingkan dengan tempat lain, baik pada lokasi di belahan bumi utara maupun dibandingkan di Nganjuk dan Madagaskar (belahan bumi selatan), yaitu 7420 Bq/m². Dengan menggunakan selang kepercayaan 95% dan Tabel 2, maka nilai inventori untuk Pb-210 *excess* dapat dinyatakan sebagai $(7420 \pm 1,96 \text{ standard error of the mean})$ Bq/m² yaitu (7420 ± 758) Bq/m². Nilai inventori pembanding Pb-210 *excess* ini didasarkan perhitungan pada tahun 2013. Nilai inventori Pb-210 *excess* cukup tinggi dibanding dengan Spanyol, Nganjuk, Malagasi-Madagaskar dan Baganuur-Mongolia, namun masih jauh lebih rendah dibanding dengan daerah tanah hitam di bagian timur laut Cina [20], seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Hal ini menggambarkan bahwa sumber utama jatuhnya Pb-210 *excess* tidak sama dengan Cs-137 yang berasal dari jatuhnya percobaan senjata nuklir dan beberapa lokasi dikarenakan kontribusi kecelakaan reaktor nuklir, akan tetapi Pb-210 *excess* sangat bergantung pada kondisi batuan sekitar [2]. Pasir jaya terletak pada lereng gunung Salak yaitu gunung yang mempunyai manifestasi geotermal cukup banyak, sehingga sangat mungkin aktivitas Pb-210 *excess* berkontribusi secara signifikan dari emanasi gas radon yang mungkin berasal dari manifestasi geotermal melalui rekahan tanah dan turun bersama air hujan dalam bentuk aerosol Pb-210 [21].

Tabel 3. Inventori Cs-137 dan Pb-210 excess di beberapa lokasi sebagai pembandingan

Lokasi	Inventori (Bq/m ²)	Inventori Pb-210 excess (Bq/m ²)	Sumber Referensi
Nganjuk, Indonesia	281	-	Barokah A., dkk., 2009 [10]
Nganjuk, Indonesia	-	2465	Barokah A. 2014 [15]
Kalumpang, Malaysia	551	-	Z Othman, 2012 [22]
Malagasry, Madagaskar	216	3078	N. Rabeseranna, dkk., 2015[5]
Baganuur, Mongolia	1699	6427	H. Kato dkk, 2010 [4]
Spanyol	1570	1943	L. Gaspar, dkk., 2013 [18]
Salihli, Turki	1070-1320	-	M. Murat, dkk., 2015 [23]
Northestem, Cina	-	19751	H. Y. Fang, dkk., [20]

Aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess pada lahan penelitian

Hasil pengukuran Cs-137 dan Pb-210 excess pada lahan penelitian secara transek dapat dilihat pada Tabel 4a dan Tabel 4b. Tabel 4a memperlihatkan hasil analisis aktivitas persatuan luas (inventori) Cs-137 dan Pb-210 excess beserta estimasi laju erosi menggunakan *software radiocalc* berdasarkan model keseimbangan massa 1 (MBM 1) untuk Cs-137 dan menggunakan model keseimbangan massa untuk Pb-210 excess pada tata guna lahan kebun/perkebunan. Tabel 4b memperlihatkan hasil analisis aktivitas persatuan luas (inventori) Cs-137 dan Pb-210 excess beserta estimasi laju erosi menggunakan *software radiocalc* berdasarkan model keseimbangan massa 1 (MBM 1) untuk Cs-137 dan menggunakan model keseimbangan massa untuk Pb-210 excess pada tata guna lahan ladang.

Semua sampel yang didapat dari daerah sub DAS Cianten ini mempunyai inventori yang lebih kecil dari inventori pada lokasi pembandingan di

Pasir Jaya. Untuk tata guna lahan perkebunan mempunyai nilai inventori yang bervariasi dari 44 Bq/m² sampai 131,9 Bq/m² dan dari 966 Bq/m² sampai 5342,9 Bq/m² masing-masing untuk Cs-137 dan Pb-210 excess. Untuk tata guna lahan berupa ladang nilai inventori juga bervariasi dari 47,7 Bq/m² sampai 159,1 Bq/m² dan 1458,9 Bq/m² sampai 4352,9 Bq/m² masing-masing untuk Cs-137 dan Pb-210 excess. Secara umum rentang variasi nilai inventori dari tata guna lahan kebun/perkebunan lebih sempit dibanding ladang, baik untuk Cs-137 maupun Pb-210 excess. Dengan mengasumsikan bahwa jatuhnya radionuklida di keseluruhan wilayah sub DAS Cianten sama, maka faktor pengaruh cara olah tanah dan jenis tanaman yang ditanam sangat mempengaruhi rentang nilai inventori sebagai akibat dari terjadinya erosi. Tanah yang lebih sering diolah mempunyai rentang nilai yang lebih lebar, karena potensi terkena erosi semakin bertambah besar. Ini terlihat dalam rentang inventori tata guna lahan ladang/olahan di sub DAS Cianten ini.

Tabel 4a. Hasil analisis inventori sampel di tata guna kebun dan estimasi erosinya

Lokasi Sampel	Inventori CS-137 (Bq/m ²)	Inventori Pb-210 excess (Bq/m ²)	Estimasi laju Erosi (ton/ha/th)	
			Cs-137 (model MBM1)	Pb-210 exs (MBM)
Leuwiliang	100,3	1940,1	-18,39	-32,2
	74,0	1798,0	-26,6	-34,3
	64,4	1349,6	-30,31	-42,4
		Laju erosi rata-rata→	-25,1	-36,3
Cibeber	100,1	3228,2	-20,6	-19,9
	131,9	4241,4	-12,25	-13,2
	109,4	5140,9	-17,93	-8,5
	74,7	1261,6	-29,42	-46,5
	Laju erosi rata-rata→	-20	-22	
Ds Gn. Pincung	82,1	966,0	-22,67	-51,6
	76,1	3458,1	-24,62	-17,2
	124,8	4156,8	-11,86	-12,9
	Laju erosi rata-rata→	-19,7	-27,2	
Ds. Purwakbakti	51,4	1838,8	-31,07	-31,5

	44,4	2135,8	-34,39	-27,8
	51,7	1689,0	-30,91	-33,7
		Laju erosi rata-rata→	-32,3	-31
Ds. Cibunian	71,7	1758,0	-23,9	-32,9
	54,4	2297,5	-30,31	-26,3
	92,4	3437,2	-17,95	-16,8
	45,3	2070,7	-34,55	-28,8
	67,5	1909,8	-25,29	-30,8
	68,7	2909,4	-24,89	-20,6
	76,3	1893,2	-22,43	-31,1
		Laju erosi rata-rata→	-25,6	-26,8
Ds Nanggung	81,5	3181,2	-25,47	-20,0
	95,2	4231,0	-21,0	-13,0
	72,1	5342,9	-28,95	-7,5
		Laju erosi rata-rata→	-25,1	-13,5
Pasir Ripis	127,0	3885,3	-11,16	-14,3
	96,5	3264,2	18,09	-18,4
		Laju erosi rata-rata→	-14,6	-16,4

Laju erosi berdasarkan Cs-137 dan Pb-210 excess

Estimasi laju erosi dihitung menggunakan nilai tunggal inventori pembanding yaitu 197 Bq/m² dan 7420 Bq/m² masing-masing untuk Cs-137 dan Pb-210 excess. Laju erosi berdasarkan model keseimbangan massa 1 untuk Cs-137 menghasilkan nilai rata-rata laju erosi mulai tahun 1964 sampai saat sampling tanah yaitu tahun 2013. Secara umum, dapat dikatakan bahwa Cs -

137 merefleksikan laju erosi rata-rata dalam kurun waktu sejak jatuhnya Cs-137 terendapkan di suatu lokasi sampai saat dilakukan sampling, yang biasanya diasumsikan dalam kurun waktu 50 tahunan [24].

Laju erosi dengan model keseimbangan massa untuk Pb-210 excess menghasilkan nilai rata-rata laju erosi yang dapat mengkover secara retrospektif dalam kurun waktu 100 tahun [16].

Tabel 4b. Hasil analisis inventori sampel di tata guna ladang dan estimasi erosinya

Lokasi Sampel	Inventori CS-137 (Bq/m ²)	Inventori Pb-210 ex (Bq/m ²)	Estimasi laju Erosi (ton/ha/th)	
			Cs-137 (model MBM1)	Pb-210exs (MBM)
Ds. Curug	63,3	2909,5	-37,52	-23,5
Bitung	77,7	2032,8	-31,67	-33,7
	55,8	2808,0	-42,8	-24,5
		Rata-rata laju erosi →	-37,33	-27,33
Ds. Purwasari	62,7	2688,8	-31,91	-23,9
	159,1	2447,3	-6,02	-26,3
	134,2	3631,1	-10,78	-16,5
		Rata-rata laju erosi →	-16,24	-22,23
Ds Gn.	82,4	1853,2	-26,48	-34,9
Gunung	48,3	2124,6	-42,49	-31,0
Bunder	59,1	1805,4	-36,46	-35,6
		Rata-rata laju erosi →	-35,14	-33,83
Ds. Ciasmara	93,0	2909,5	-19,73	-21,4
	92,1	2298,4	-19,98	-27,7
	47,7	1530,8	-37,04	-38,1
		Rata-rata laju erosi →	-25,58	-28,93
Ds. Karehkel	94,9	2068,4	-17,32	-28,8
	75,9	1458,9	-22,55	-37,8
	99,0	4352,9	-16,31	-11,5
	95,5	3197,2	-17,15	-18,4
		Rata-rata laju erosi →	-18,33	-24,33

Pada Tabel 4a tanda negatif menggambarkan terjadinya erosi, dan terlihat laju erosi dari kebun/perkebunan mempunyai rentang nilai dari -14,6 ton/ha/th sampai -32,2 ton/ha/th dan rentang nilai dari -13,5 ton/ha/th sampai -36,33 ton/ha/th, dan rata-rata laju erosinya adalah -23,2 ton/ha/th dan -24,74 ton/ha/th, masing-masing berdasarkan pada Cs-137 dan Pb-210 *excess*. Nilai laju erosi ini merupakan nilai yang telah melebihi ambang batas erosi yang dapat ditoleransi yaitu berkisar -5,5 ton/ha/th [16]. Namun demikian, nilai laju erosi yang diperoleh dengan Cs-137 dan Pb-210 *excess* ini memberikan nilai yang relatif sama. Hal ini memberikan gambaran bahwa laju erosi rata-rata tahunan di wilayah ini dengan basis retrospektif 100 tahun dan 50 tahun tidak memberikan perbedaan yang signifikan.

Dengan cara yang sama, dapat dilihat pada Tabel 4b, bahwa laju erosi pada lahan ladang di kawasan sub DAS Cianten bervariasi dari -16,24 ton/ha/th sampai -37,33 ton/ha/th dan -22,23 ton/ha/th sampai -33,83 ton/ha/th, dengan laju erosi rata-rata dari keseluruhan transek adalah -26,52 ton/ha/th dan -27,33 ton/ha/th, masing-masing berdasarkan pada Cs-137 dan Pb-210 *excess*.

Secara umum, nampak bahwa laju erosi pada kebun campuran lebih kecil dibandingkan laju erosi pada lahan ladang, meskipun perbedaannya tidak cukup besar, baik estimasi berdasarkan Cs-137 maupun Pb-210 *excess*. Hal ini karena adanya kecenderungan di lapangan bahwa praktek pengolahan lahan secara tumpangsari dengan tanaman semusim diantara pohon keras dalam kebun, meskipun pengolahan tanah tidak sesering pada pengolahan tanah di ladang. Dengan hasil pada transek-transek yang mewakili dari keseluruhan lahan yang ada di sub DAS Cianten, laju erosi dari tata guna lahan kebun/perkebunan mempunyai rentang estimasi laju erosi -23,2 ton/ha/th sampai -24,74 ton/ha/th dengan rata-rata -23,97 ton/ha/th, dan dari tata guna lahan ladang mempunyai rentang nilai estimasi dari -26,52 ton/ha/th sampai -27,33 ton/ha/th dengan rata-rata 26,93 ton/ha/th.

Suplai sedimen suspensi dari sub DAS Cianten outlet di desa Tamilung

Untuk melakukan estimasi kuantitatif tanah tererosi dari sub DAS Cianten, diperlukan beberapa data lagi diantaranya adalah laju sedimentasi daratan banjir, sedimen suspensi di

titik *outlet* desa Tamilung dan perkiraan luasan daerah deposisi, serta kontribusi sedimen dari sub DAS Cianten pada sedimen suspensi di Tamilung. Dengan cara yang sama seperti dilakukan laju deposisi sedimen sungai Ciujung [24], laju sedimentasi dataran banjir sungai Cisadane di dusun Kranggan dalam 18 tahun terakhir adalah 3,11 cm/th. Mengasumsikan bahwa densitas *bulk* sedimen adalah $1,0 \text{ g/cm}^3$ dan luas daerah sedimentasi dari Cisadane Hulu sampai dusun Tamilung adalah $1,5 \text{ km}^2$, maka diperoleh besaran total deposisi sedimen sebesar 46650 ton/th. Dari data pengamatan debit di Serpong dari tahun 1992 sampai 2009 diperoleh rata-rata debit $79,72 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan juga dari data Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota Tangerang tahun 2012 [25], dapat dihitung sedimen suspensi rata-rata dari tahun 2005 sampai tahun 2012 adalah $82,75 \text{ mg/L}$, sehingga diperoleh besaran total rata-rata sedimen suspensi yang lewat *outlet* (Tamilung) adalah 208037 ton/th. Dengan demikian, total suplai sedimen tererosi yang masuk ke saluran sungai dalam bentuk sedimen suspensi adalah $(46650 \text{ ton/th} + 208037 \text{ ton/th})$ 254687 ton/th.

Hasil kontribusi sumber sedimen di daerah aliran sungai Cisadane telah diperoleh berdasarkan pada pengambilan sampel permukaan (0-2 cm) pada lapisan *sub-soil*, pada tata guna lahan kebun dan ladang serta pengambilan sampel sedimen suspensi di lokasi desa Tamilung, seperti dilaporkan oleh Barokah dkk [12], bahwa kontribusi sumber sedimen pada sedimen suspensi di daerah Tamilung bervariasi dari 0% sampai 5,2% dan dari 0,7% sampai 13,3% , masing-masing berasal dari kebun dan ladang di keseluruhan sub DAS Cianten. Dengan kata lain, kontribusi sumber sedimen secara rata-rata (*mean*) adalah 2,6% berasal dari tata guna lahan kebun/perkebunan dan 7% berasal dari tata guna lahan ladang. Apabila dinyatakan dengan jumlah rata-rata keseluruhan yang berkontribusi pada sedimen suspensi di Tamilung, maka ada sejumlah $(2,6\% \times 254687 \text{ ton/th})$ atau 6621,9 ton/th berasal dari lahan kebun/perkebunan sub DAS Cianten dan $(7\% \times 254687 \text{ ton/th})$ atau 17828,1 ton/th berasal dari lahan ladang sub DAS Cianten. Dengan kata lain sub DAS Cianten berkontribusi ke dalam suplai sedimen suspensi di Tamilung sebesar 24450 ton/th.

KESIMPULAN

Cs-137 dan Pb-210 *excess* telah digunakan untuk mengkaji laju erosi di tata guna lahan utama sub DAS Cianten, yang mempunyai curah hujan cukup tinggi. Estimasi laju erosi berdasarkan Cs-137 dengan menggunakan model keseimbangan massa 1 dibandingkan dengan model keseimbangan massa untuk Pb-210 *excess*, secara umum dan rata-rata laju erosi dari keseluruhan transek tidak mempunyai perbedaan yang signifikan yaitu didapatkan erosi rata-rata sebesar -23,2 ton/ha/th dan -24,74 ton/ha/th, masing-masing untuk tata guna lahan kebun; serta -26,52 ton/ha/th dan 27,33 ton/ha/th untuk tata guna ladang. Hasil estimasi laju erosi setiap titik sampling dari tata guna lahan kebun/perkebunan mempunyai rentang nilai -14,6 ton/ha/th sampai -32,3 ton/ha/th dan rentang nilai dari -13,5 ton/ha/th sampai -36,33 ton/ha/th, masing-masing berdasarkan pada Cs-137 dan Pb-210 *excess*. Estimasi laju erosi setiap titik sampling pada tata guna ladang mempunyai rentang nilai dari -16,24 ton/ha/th sampai 37,33 ton/ha/th dan rentang nilai dari -22,23 ton/ha/th sampai -33,83 ton/ha/th, masing-masing berdasarkan pada Cs-137 dan Pb-210 *excess*. Dilihat dari rata-rata laju erosi bersih dari kedua tata guna lahan tersebut, tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Hal ini, sangat dimungkinkan karena pada kebanyakan tata guna lahan kebun/perkebunan juga dilakukan penanaman tumpangsari dengan tanaman semusim diantara tanaman keras utamanya. Laju erosi dari wilayah sub DAS Cianten ini telah jauh melebihi dari ambang batas erosi yang dapat ditoleransi yaitu -5 ton/ha/th, yang mempunyai arti bahwa usaha pengendalian erosi di wilayah ini masih belum efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh staf terkait dalam kelompok erosi di Bidang Industri dan lingkungan, diantaranya Ir. Nita Suhartini, Bapak Darman dan Bapak Wagiyanto yang telah membantu dalam sampling dan preparasi serta penyiapan peralatan lapangan lain. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih, penelitian ini terlaksana melalui dana litbang PAIR-BATAN tahun 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Arsyad, "Konservasi Tanah dan Air," no. 1, pp. 1-19, 2011.
- [2] G. Matisoff, "²¹⁰Pb as a Tracer of Soil Erosion, Sediment Source Area Identification and Particle Transport in The Terrestrial Environment," *J. Environ. Radioact.*, vol. 138, pp. 343-354, 2014.
- [3] P. Porto, D.E. Walling, "Validating The Use of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb Ex Measurements to Estimate Rates of Soil Loss From Cultivated Land In Southern Italy," *J. Environ. Radioact.*, vol. 106, pp. 47-57, 2012.
- [4] H. Kato, Y. Onda, Y. Tanaka, "Using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pbex Measurements to Estimate Soil Redistribution Rates on Semi-Arid Grassland in Mongolia," *Geomorphology*, vol. 114, no. 4, pp. 508-519, 2010.
- [5] N. Rabesiranana, M. Rasolonirina, A.F. Solonjara, dkk., "Assessment of soil Redistribution Rates by ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb Ex in a Typical Malagasy Agricultural Field," *J. Environ. Radioact.*, vol. 152, pp. 112-118, 2016.
- [6] A. Jha, U. Schkade, G. Kirchner, "Estimating short-term soil erosion rates after single and multiple rainfall events by modelling the vertical distribution of cosmogenic ⁷Be in soils," *Geoderma*, vol. 243-244, no. April, pp. 149-156, 2015.
- [7] A. Taylor, W.H. Blake, H.G. Smith, dkk., "Assumptions and Challenges in The Use of Fallout Beryllium-7 as A Soil and Sediment Tracer In River Basins," *Earth-Science Reviews*, vol. 126. Elsevier B.V., p. 85, 2013.
- [8] Y. Zhang, Y. Long, J. An, dkk., "Spatial Patterns of ¹³⁷Cs Inventories and Soil Erosion from Earth-Banked Terraces in The Yimeng Mountains, China," *J. Environ. Radioact.*, vol. 136, pp. 1-9, 2014.
- [9] Y. Zhao, D. Yan, Q. Zhang, dkk., "Spatial Distributions of ¹³⁷Cs in Surface Soil in Jing-Jin-Ji Region, North China," *J. Environ. Radioact.*, vol. 113, pp. 1-7, 2012.

- [10] B. Aliyanta, S. Rahmadi, "Estimasi Laju Erosi Lahan Berlereng di Kabupaten Nganjuk dengan Teknik Cs-137," *A Sci. J. Appl. Isot. Radiat.*, vol. 5, no. 2, pp. 129–146, 2009.
- [11] E. Fulajtar, L. Mabit, C.S. Renschler, dkk., Use of ^{137}Cs for Soil Erosion Assessment. 2017.
- [12] B. Aliyanta, "Kajian Komparatif Parameter Kualitas Tanah di Beberapa Tata Guna Lahan sub DAS Cisadane Hulu dengan Pb-210 excess dan Cs-137," *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 11, no. 2, p. 113, 2016.
- [13] S. Editor, dkk., *Environmental Radionuclides: Tracers and Timers of Terrestrial Processes*, vol. 14. 2009.
- [14] M.S. Baxter, "Sedimentary Processes: Quantification Using Radionuclides", 2003.
- [15] B. Aliyanta, "Teknik Pb-210 excess untuk Estimasi Laju Erosi Lahan Berlereng di Kabupaten Nganjuk," *A Sci. J. Appl. Isot. Radiat.*, vol. 10, no. 2, pp. 81–92, 2014.
- [16] B. Aliyanta, N. Suhartini, B. Pratikno, "Studi Awal Penentuan Sumber Sedimen DAS Cisadane Hulu dengan Radionuklida Alam," *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 11, no. 1, p. 39, 2016.
- [17] D. Supriyadi, "Pengelolaan DAS Cisadane Terpadu Tahun 2010", 2010.
- [18] L. Gaspar, A. Navas, D.E. Walling, dkk., "Using ^{137}Cs and ^{210}Pb Ex to Assess Soil Redistribution on Slopes at Different Temporal Scales," *Catena*, vol. 102, pp. 46-54, 2013.
- [19] D.E. Walling, "Use of ^{137}Cs And Other Fallout Radionuclides in Soil Erosion Investigations: Progress, Problems And Prospects," pp. 39-64, 1998.
- [20] H.Y. Fang, M.L. Sheng, Z.H. Tang, dkk., "Assessment of Soil Redistribution and Spatial Pattern for A Small Catchment in The Black Soil Region, Northeastern China: Using Fallout ^{210}Pb Ex," *Soil Tillage Res.*, vol. 133, pp. 85-92, 2013.
- [21] H. Nurohman, H. Bakti, S. Indarto, "Konsentrasi Radon di Sekitar Manifestasi Panas Bumi Gunung Slamet, Jawa Tengah," in *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Tahun 2014*, pp. 431-439, 2014.
- [22] Z. Othman, W.R. Ismail, "Using Environmental Radionuclide, ^{137}Cs To Investigate Soil Re-Distribution In An Agricultural Plot In Kalumpang, Selangor, Malaysia," *Kaji. Malaysia*, vol. 30, no. 2, pp. 45-70, 2012.
- [23] M.M. Sac, M. Ichedef, " Application of ^{137}Cs technique for evaluation of erosion and deposition rates within cultivated fields of Salihli region, Western Turkey ," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 477-482, 2015.
- [24] B. Aliyanta, N. Suhartini, "Laju Sedimentasi di Dataran Banjir Sungai Ciujung Hulu Berdasarkan Profil Pb-210 Excess," *EKSPLORIUM*, vol. 39, no. 1, p. 27, 2018.
- [25] W. Halim, "Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota Tangerang Tahun 2012", 2013.

