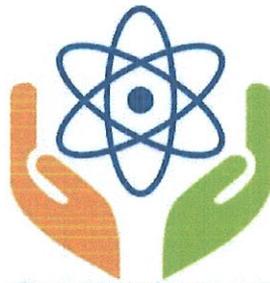


ISSN : 2540-8062
PROSIDING



SENPATEN

SEMINAR NASIONAL PENDAYAGUNAAN TEKNOLOGI NUKLIR
National Seminar on Nuclear Technology Utilization in conjunction
with FNCA Workshop on Research Reactor Utilization

PUSPIPTEK - Serpong, 21 - 23 November 2017

Nuclear Technology Utilization
in the fields of Food, Health, Industry and Environment
through strengthening regional collaboration



FNCA
Forum for Nuclear Cooperation in Asia



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas petunjuk dan karunia-Nya **Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir (SENPATEN) 2017** dapat diterbitkan. Prosiding ini merupakan dokumentasi yang memuat karya tulis ilmiah para peserta SENPATEN 2017 yang diselenggarakan bersamaan dengan *FY2017 FNCA Workshop on Research Reactor Utilization Project*. Kegiatan tersebut diselenggarakan di Gedung 720 Auditorium Pusat Inovasi dan Bisnis Teknologi, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, pada tanggal 21-23 November 2017, dengan mengambil tema "*Pendayagunaan teknologi nuklir di bidang pangan, kesehatan, industri dan lingkungan melalui penguatan kerjasama regional*".

Pada Seminar Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017 panitia menerima sebanyak 81 makalah dari BAPETEN, BATAN, BPFK-Jakarta, ITB, STIKES Guna Bangsa Yogyakarta, Universitas Indonesia, Universitas Nasional, Universitas Pamulang, dan setelah dilakukan seleksi serta evaluasi, diputuskan 30 makalah dipresentasikan secara *oral*, dan sisanya disajikan dalam bentuk poster.

Setelah melalui proses penyuntingan, dalam Prosiding Seminar Nasional Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017 ini, sebanyak 77 makalah dicantumkan sebagai makalah lengkap yang diklasifikasikan kedalam beberapa bidang yaitu pangan, kesehatan, industri, lingkungan, energi, keselamatan dan keamanan, metrologi serta bidang lainnya yang terkait dengan pedayagunaan teknologi nuklir. Semoga prosiding ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi untuk memacu kegiatan penelitian, pengembangan serta pendayagunaan teknologi nuklir di Indonesia. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penerbitan Prosiding ini.

Serpong, Maret 2018

Dewan Editor



Seminar Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2017
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Tangerang Selatan 21-23 November 2017



DAFTAR ISI

Kata Pengantar	.....	i
Sambutan Deputi Pendayagunaan Teknologi Nuklir	.....	ii
SK Kepala BATAN No. 232/KA/X/2017		
Tentang Penyelenggaraan Seminar Nasional		
Pendayagunaan Teknologi Nuklir – Workshop FNCA, dan		
Pembentukan Panitia	.....	iii
Daftar Isi	.....	ix
Daftar Pemakalah	.....	x
Bidang Pangan	.....	1 – 13
Bidang Kesehatan	.....	15 – 181
Bidang Industri	.....	183 – 301
Bidang Lingkungan	.....	303 – 336
Bidang Energi	.....	337 – 434
Bidang Keselamatan dan Keamanan	.....	435 – 497
Bidang Metrologi	.....	499 – 514
Bidang Lainnya	.....	515 – 519

ESTIMASI LAJU EROSI ATAU DEPOSISI TANAH MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM ^{137}Cs dan ^{210}Pb DI SubDAS PASIR BUNCIR –BOGOR

Nita Suhartini* dan Barokah Aliyanta*

*) Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440

e-mail : s-nita@batan.go.id

ABSTRAK

Sungai Cisadane memiliki daerah tangkapan air yang sangat besar, dan karena hilangnya hutan di daerah hulu menyebabkan sungai ini mengalami pendangkalan dan sering mengalami banjir. SubDAS Pasir Buncir merupakan daerah hulu dari DAS Cisadane yang mengalami kerusakan lingkungan yang sangat kritis karena banyak penambangan pasir gunung yang mengakibatkan sering terjadi longsor dan banjir. Radioisotop alam ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ yang terdapat di tanah dapat digunakan sebagai perunut untuk estimasi laju erosi di daerah subDAS pasir Buncir ini, karena kedua radioisotop ini melekat sangat kuat pada butiran tanah. Radioisotop alam ^{137}Cs merupakan hasil jatuhnya (*fallout*) dari percobaan senjata nuklir, sedangkan radioisotop alam ^{210}Pb merupakan hasil rangkaian peluruhan panjang dari ^{238}U yang berasal dari batuan. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan laju erosi/deposisi dari subDAS Pasir Buncir. Lokasi penelitian yang dipilih adalah suatu lahan olah dan lahan yang tidak diolah, dan pengambilan cuplikan dilakukan menggunakan alat coring (di = 7 cm) dengan kedalaman 20 cm, secara transek. Sampel-sampel tanah kemudian dibawa ke laboratorium untuk perlakuan awal yang terdiri dari pengeringan, penimbangan berat kering, penggerusan, pengayakan dan penyimpanan selama 21 hari dalam wadah merinelli yang tertutup rapat. Analisis kandungan ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ menggunakan alat spektrometri gamma (MCA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju erosi di subDAS ini lah berkisar antara -8,3 t/ha.th sampai dengan -38,2 t/ha.th dan -11,8 t/ha.thn sampai dengan -29,1 t/ha.thn masing-masing untuk radioisotop alam ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$.

Kata kunci : Erosi atau deposisi, radioisotop alam, ^{137}Cs , ^{210}Pb

ABSTRACT

ESTIMATION OF SOIL EROSION OR DEPOSITION RATE BY USING ^{137}Cs and ^{210}Pb ENVIRONMENTAL ISOTOPES AT SubCATCHMENT OF PASIR BUNCIR – BOGOR. Cisadane river has a wide catchment area, and deforestation at upstream caused sedimentation and flood. Pasir Buncir catchment is a small part of Cisadane catchment and located at the upstream of its. Radioisotopes of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ content in the soil can be used as tracer to estimate erosion/deposition rate at subCatchmentn of Pasir Buncir, because these two environmental isotopes were adhered very strong at surface of soil particles. Environmental isotope of ^{137}Cs at soil is fallout from the atmosphere as result of weapon test at the north, while ^{210}Pb is a result of long decay of ^{238}U from the rocks. The study is aimed to estimate the rate of erosion/deposition soil at Pasir Buncir subCatchment. Cultivated and uncultivated area had been chosen as study sites and soil sampling were done by using coring (di = 7 cm) at the depth of 20 cm. Soil samples were brought to the laboratorium for preparation namely drying, dry weight weighing, crushing, sieving and seal in the merinelli for 21 days. The environmental radioisotopes of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ at soil were analyzed using gamma spectrometre (MCA). The experimental result showed that rate of erosion/deposition were range from -8,3 t/ha.y to -38,2 t/ha.y and -11,8 t/ha.y to -29.1 t/ha.y, for ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ respectively.

Keyword : erosion or deposition, environmental radioisotope, ^{137}Cs , ^{210}Pb

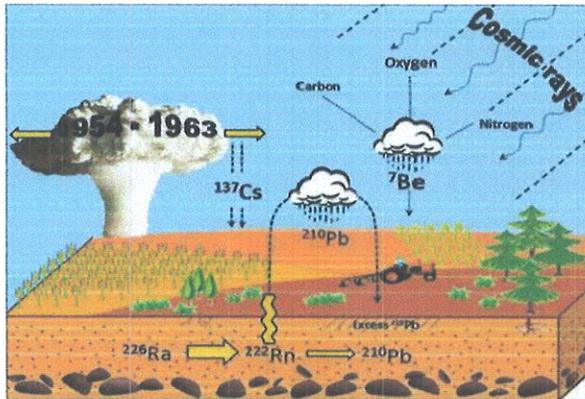
PENDAHULUAN

Erosi merupakan problem besar di Indonesia karena dapat menyebabkan berkurangnya kesuburan tanah, pendangkalan sungai dan terjadinya banjir. Erosi ini terjadi akibat adanya pembukaan hutan yang tidak terkendali sehingga daerah yang tadinya merupakan tangkapan air yang dapat mengendalikan keseimbangan alam sudah hilang fungsinya. Besarnya erosi dapat ditentukan secara konvensional yaitu dengan cara melihat seluruh kondisi lapangan dan membawa sampel tanah untuk dianalisis beberapa unsur hara dan organiknya (N, P, C organik), tetapi metode ini membutuhkan waktu yang lama. Karena adanya keterbatasan pada metode konvensional dalam mendokumentasikan distribusi erosi, maka metode nuklir dengan memanfaatkan radioisotop mulai banyak digunakan, terutama radioisotop alam ^{137}Cs dan ^{210}Pb sebagai pendekatan alternatif untuk penelitian erosi tanah dan asal usul sedimen [1]. Radioisotop alam ^{137}Cs merupakan alat untuk mendapatkan informasi tentang distribusi dari erosi/deposisi yang telah terjadi dalam kurun waktu 40 tahun, sedangkan radioisotop alam ^{210}Pb untuk kurun waktu 100 tahun. Pengambilan cuplikan untuk metode Nuklir ini hanya dilakukan satu kali pengambilan sampel kelokasi penelitian [2].

^{137}Cs adalah radioisotop alam dengan waktu paruh 30,2 tahun. Keberadaan radioisotop ^{137}Cs di alam ini adalah merupakan jatuhnya (*fallout*) dari atmosfer sebagai hasil percobaan senjata nuklir. ^{137}Cs secara global telah dapat dideteksi di alam ini sejak 1954, dan fluks yang tertinggi pada belahan bumi bagian utara terjadi pada tahun 1973 sehubungan dengan adanya percobaan senjata nuklir sesar besar-besaran yang terjadi pada saat itu. Jatuhan ^{137}Cs dari atmosfer berkurang drastis setelah adanya perjanjian percobaan senjata nuklir pada tahun 1963, dan sejak Tahun 1970-an jatuhan ^{137}Cs dari atmosfer menjadi sangat tidak signifikan (hampir tidak ada). Selain dari percobaan senjata nuklir, untuk beberapa wilayah di Eropa dan wilayah yang berada berdekatan dengan Rusia, mengalami penambahan jatuhan ^{137}Cs yang berasal dari peristiwa kecelakaan Chernobyl pada tahun 1986. Jatuhan ^{137}Cs ketika menyentuh permukaan bumi akan teradsorpsi secara cepat

dan kuat pada permukaan tanah dan kemudian terdistribusi secara vertikal dan lateral bersama-sama dengan pergerakan partikel tanah. Kuatnya ikatan ^{137}Cs pada partikel tanah membuat ^{137}Cs dapat digunakan sebagai perunut (*tracer*) pada pergerakan tanah dan sedimen [3].

^{210}Pb adalah suatu radioisotop alam (waktu paruh 22,2 tahun) yang merupakan hasil dari rangkaian peluruhan dari radioaktif induk ^{238}U . ^{210}Pb dihasilkan melalui beberapa rangkaian peluruhan radioaktif umur pendek dari peluruhan gas ^{222}Rn (waktu paruh 3,8 hari) yang merupakan anak luruh dari radioaktif alam ^{226}Ra (waktu paruh 1622 tahun). ^{210}Pb yang terdapat di tanah dan batuan merupakan hasil peluruhan secara alamiah dari ^{226}Ra . ^{226}Ra akan meluruh menjadi ^{222}Rn yang berumur pendek ($t_{1/2} = 3,8$ hari), dimana sebagian kecil dari gas ^{222}Rn ini akan terdifusi ke atas dan terlepas ke atmosfer. Gas ^{222}Rn yang terperangkap di tanah dan batuan akan meluruh menjadi ^{210}Pb yang berada dalam kesetimbangan dengan induknya, dan ini disebut sebagai ^{210}Pb *supported*. Sedangkan gas ^{222}Rn yang terlepas ke atmosfer akan meluruh menjadi ^{210}Pb kemudian jatuh ke permukaan tanah melalui air hujan. Jatuhan ^{210}Pb ini di permukaan tanah tidak berada dalam kesetimbangan dengan induknya, dan ^{210}Pb jatuhnya ini disebut sebagai ^{210}Pb *unsupported* atau *excess*. Karena kuatnya daya serap partikel tanah dan sedimen, maka jatuhan ^{210}Pb ketika menyentuh permukaan tanah secara cepat akan teradsorpsi dan melekat sangat kuat pada partikel tanah dan sedimen. Pergerakan ^{210}Pb di tanah dan sedimen secara vertikal dan horizontal disebabkan karena adanya proses erosi, transportasi dan deposit. Oleh karena fenomena ini maka fungsi ^{210}Pb *unsupported* atau *excess* sama seperti ^{137}Cs sebagai perunut (*tracer*) untuk penelitian erosi tanah dan asal usul sedimen [4]. Proses terdapatnya radioisotop alam ^{137}Cs dan ^{210}Pb dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses terjadinya keberadaan radioisotop alam di permukaan tanah (Cosmic ray = sinar kosmis yang berasal dari cahaya matahari)

Penentuan laju erosi menggunakan radioisotop alam ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$, dilakukan dengan cara membandingkan nilai inventori dari lokasi penelitian dengan nilai inventori lokasi pembandingan. Lokasi pembandingan adalah suatu lokasi dimana proses erosi/deposisi sangat kecil/tidak terjadi. Lokasi pembandingan yang dipilih biasanya terletak di dataran yang tinggi dan memiliki permukaan yang datar. Pada penelitian ini digunakan dua radioaktif alam yaitu ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{unsupported}}$ untuk menentukan laju erosi/deposisi pada suatu lokasi yang terdiri dari lahan yang diolah (*cultivated*) dan yang tidak diolah (*uncultivated*). Lokasi penelitian yang dipilih adalah sub Daerah Aliran Sungai (subDAS) Pasir Buncir- Bogor - Jawa Barat. Tujuan dari penelitian adalah menentukan laju erosi/deposisi subDAS Pasir Buncir yang merupakan salah satu hulu dari DAS Cisdane - Bogor - Jawa Barat menggunakan radioisotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb .

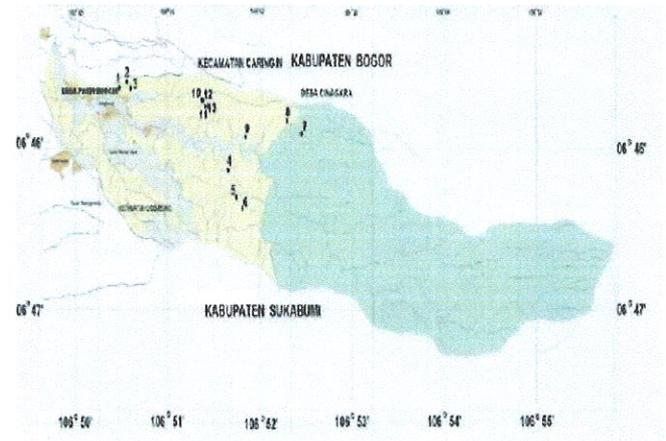
METODELOGI

Metode yang digunakan adalah analisis kandungan radioisotop alam yang terdapat di tanah. Pengambilan cuplikan tanah dilakukan dengan menggunakan alat coring (di = 7 cm) dengan kedalaman 20 cm, kemudian dilakukan perlakuan awal terhadap cuplikan tanah sebelum dianalisis menggunakan alat spektrometer gamma .

Lokasi penelitian

Lokasi pengambilan cuplikan dilakukan pada 13 lokasi (Gambar 2), yaitu 7 lokasi lahan olahan dan 6 lahan yang tidak diolah. Lokasi

penelitian ini merupakan suatu lahan yang diolah secara komersial (perkebunan) dan lahan yang diolah oleh penduduk setempat. Lokasi penelitian memiliki kemiringan yang berbeda-beda berkisar antara 10° sampai dengan 45° [5].



Gambar 2. Lokasi Penelitian (SubDAS Pasir Buncir – Bogor – Jawa Barat) dan titik-titik pengambilan sampel

Pengambilan cuplikan dilakukan secara vertikal dari atas ke bawah (transek), dan setiap transek terdiri dari beberapa titik percobaan dengan jarak antara titik untuk setiap transek antara 10 m hingga 15 m. Jarak antara transek antara 5 km hingga 10 km. Pengambilan sampel dilakukan dengan kedalaman 20 cm menggunakan alat coring.

Perlakuan Pendahuluan cuplikan

Cuplikan-cuplikan tanah dibawa ke laboratorium sedimentologi – PAIR – BATAN, kemudian dilakukan perlakuan pendahuluan sebelum kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb nya dianalisis. Perlakuan pendahuluan cuplikan terdiri dari : pengeringan cuplikan tanah, penimbangan berat kering total cuplikan, pengayakan hingga lolos ayakan 1 mm dan penggerusan untuk sampel yang tidak lolos ayakan 1 mm.

Analisis kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb

Sebanyak 400 g dari cuplikan tanah kering dan halus dimasukkan ke dalam merinelli, ditutup rapat, kemudian disegel menggunakan selotip kertas selama 21 hari. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa kesetimbangan antara ^{226}Ra dan anak luruhnya ^{222}Rn sudah terjadi. Kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb dalam cuplikan

tanah selanjutnya dianalisis menggunakan *High Purity Germanium* (HPGe) detektor dengan efisiensi 30 % yang dihubungkan ke GENIE 2000 *spectrum master* dan *multi channel analyzer* (MCA). Pengukuran dilakukan selama minimum 80.000 detik, dan standar yang digunakan adalah standar sekunder yang telah diketahui radioaktivitas ^{137}Cs dan ^{210}Pb nya. Setelah pencacahan, cuplikan tanah dikembalikan ke kantong plastik dan disimpan atau tetap didalam merinelli yang tersegel sehingga dapat dianalisis kembali jika diperlukan.

Pengukuran Radioaktivitas ^{137}Cs

Radioaktivitas radioisotop alam ^{137}Cs didapat pada energi 661 keV menggunakan spektrometer gamma, dengan waktu pencacahan minimum 80.000 detik. Radioaktivitas ^{137}Cs yang diperoleh melalui alat spektrometer gamma ini kemudian dibandingkan terhadap radioaktivitas standar sekunder yang telah diketahui radioaktivitas ^{137}Cs nya, sehingga diperoleh radioaktivitas ^{137}Cs yang sesungguhnya.

Pengukuran Radioaktivitas ^{210}Pb .

Setelah 21 hari sampel tanah disegel di dalam merinelli, cuplikan tanah kemudian dicacah menggunakan HPGe detektor dengan efisiensi 30 % yang dihubungkan ke GENIE 2000 *spectrum master* dan *multi channel analyzer* (MCA) dengan waktu pengukuran minimum 80.000 detik. Radioaktivitas ^{210}Pb total ditentukan pada energi 46,5 keV, dan radioaktivitas ^{214}Pb atau ^{210}Pb *supported* ditentukan pada energi 351,9 keV. Radioaktivitas dari ^{210}Pb *unsupported* atau *excess* didapat dengan cara melakukan

pengurangan radioaktivitas ^{210}Pb *supported* terhadap ^{210}Pb total [6].

Analisis data

Perhitungan laju erosi/deposisi untuk setiap titik percobaan menggunakan Model Kesetimbangan Massa 1 (MKM1) yang terdapat dalam software model konversi ^{137}Cs yang dikembangkan di Universitas EXETER- United Kingdom, yaitu : [7]

$$Y = 10 d B (1 - (1 - X/100)^{1/(t-1963)}) \quad (i)$$

Dimana :

Y = laju erosi pertahun (t/ha/th)

d = kedalaman lapisan pengolahan tanah (m)

B = densitas bulk (kg/m^3)

X = persentase kehilangan total inventori ^{137}Cs atau $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$

(didefinisikan sebagai

- $(A_{\text{ref}} - A)/A_{\text{ref}} \times 100$ untuk $A < A_{\text{ref}}$, dan

- $(A - A_{\text{ref}})/A_{\text{ref}} \times 100$ untuk $A > A_{\text{ref}}$))

t = Tahun saat pengambilan cuplikan

A_{ref} = Total inventori ^{137}Cs atau $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ di lokasi pembanding (Bq/m^2)

A = Total inventori ^{137}Cs atau $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ titik percobaan (Bq/m^2)

HASIL dan PEMBAHASAN

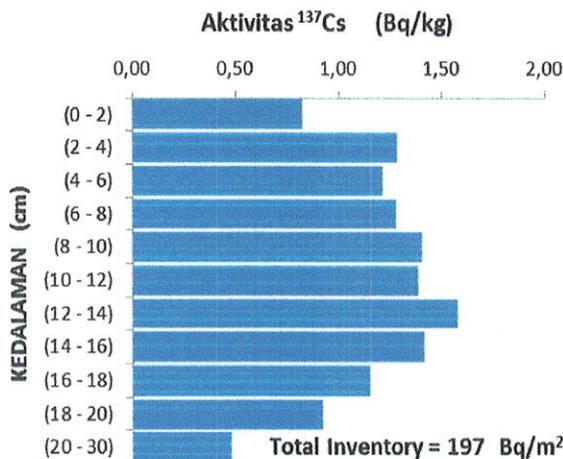
a. Lokasi Pembanding

Lokasi pembanding yang dipilih adalah hutan pinus Pasir jaya yang terletak pada posisi ($S = 06^{\circ} 41'27.6''$, $T = 106^{\circ} 46'56.4''$). Pengambilan cuplikan di lokasi pembanding dilakukan sebanyak 1 titik menggunakan alat *scraper* untuk profil distribusi vertikal dan 7 titik menggunakan alat coring untuk nilai inventori. Nilai aktivitas dan profil distribusi vertikal dari radioisotop ^{137}Cs dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Aktivitas (Bq/kg) dan inventori (Bq/m²) ¹³⁷Cs di lokasi pembanding Hutan Pinus – Pasir Jaya – Bogor

No.	Profil distribusi		INVENTORI ¹³⁷ Cs		
	Kedalaman (cm)	(Bq/kg)	KODE	(Bq/kg)	(Bq./m ²)
1.	(0 – 2)	0,83	Scrapper (0-20)cm	12,45	127
2.	(2 – 4)	1,28	COR 1	1,46	233
3.	(4 – 6)	1,21	COR 2	1,35	211
4.	(6 – 8)	1,28	COR 3	1,10	182
5.	(8 – 10)	1,40	COR 4	1,36	233
6.	(10 – 12)	1,38			
7.	(12 – 14)	1,58			
8.	(14 – 16)	1,41			
9.	(16 – 18)	1,15			
10.	(18 – 20)	0,92	RERATA		197 ± 40
11.	(20 – 30)	0,48			

Profil distribusi vertikal ¹³⁷Cs di lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



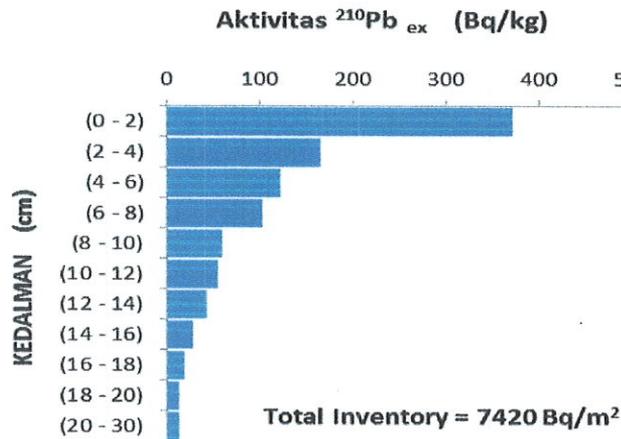
Gambar 3. Profil distribusi ¹³⁷Cs di lapisan tanah Hutan Pinus – Pasir Jaya

Pada Gambar 3 terlihat bahwa profil distribusi vertikal tidak menurun secara eksponensial, hal ini disebabkan karena jatuhnya (*fallout*) ¹³⁷Cs hanya terjadi sekali yaitu sekitar tahun 1950-an, dan akar-akar tumbuhan di hutan pinus sangat mempengaruhi distribusi vertikal dari radioisotop ini. Selain itu hutan pinus ini juga dijadikan lokasi berkemah sehingga kemungkinan terjadi pengadukan/percampuran tanah antar lapisan karena adanya kegiatan perkemahan. Satuan aktivitas yang digunakan adalah Bq/kg karena interval ketebalan lapisannya tidak sama, dimana pada kedalaman (20 – 30) ketebalan lapisan adalah 10 cm. Sedangkan nilai aktivitas dan profil distribusi vertikal dari radioisotop ²¹⁰Pb_{ex} dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2. Aktivitas (Bq/kg) dan inventori (Bq/m²) ²¹⁰Pb_{excess} di lokasi pembanding Hutan Pinus – Pasir Jaya - Bogor

No.	Profil distribusi		INVENTORI ²¹⁰ Pb _{excess}		
	Kedalaman (cm)	(Bq/kg)	KODE	(Bq/kg)	(Bq./m ²)
1.	(0 – 2)	370,11	Scrapper (0-20)cm	972,08	6935,34
2.	(2 – 4)	165,08	COR 1	59,86	9527,78
3.	(4 – 6)	120,93	COR 2	44,07	6879,36
4.	(6 – 8)	102,20	COR 3	25,99	4316,56
5.	(8 – 10)	58,12	COR 4	55,10	9439,82
6.	(10 – 12)	53,63			
7.	(12 – 14)	42,45			
8.	(14 – 16)	27,66			
9.	(16 – 18)	18,87			
10.	(18 – 20)	13,02	RERATA		7420 ± 1933
11.	(20 – 30)	12,23			

Profil distribusi vertikal radioisotop alam $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini. Pada Gambar 4 terlihat bahwa profil distribusi $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ pada lapisan tanah sangat idealis, hal ini disebabkan karena jatuhnya $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ masih berlangsung sampai saat ini sehingga dapat membentuk profil distribusi vertikal yang baik.



Gambar 4. Profil distribusi $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ di lapisan tanah Hutan Pinus – Pasir Jaya

b. Studi distribusi erosi/distribusi

Pengambilan cuplikan untuk titik-titik percobaan distribusi erosi/deposisi dilakukan menggunakan alat *coring* dengan kedalaman 20 cm secara transek dari atas ke bawah. Lokasi-lokasi penelitian yang dipilih memiliki kemiringan yang bervariasi (antara 10° s/d 45°) dan tumbuhan penutup yang berbeda. Tanaman pada agroforestri adalah tanaman keras (akasia, manii, jati ambon, jengkol, segon dan pisang), dimana tanaman ini boleh ditebang oleh penduduk sekitar lokasi tersebut setelah diameter dari batangnya minimum adalah 20 cm dan akarnya tidak boleh diambil. Untuk lahan olahan pada umumnya ditanami oleh singkong, jagung, cabe, dan mentimun secara bergantian.

Nilai-nilai aktivitas dan inventori ^{137}Cs untuk setiap titik percobaan dapat dilihat pada Tabel 3. Melalui Tabel 3, dapat dilihat bahwa pada lahan olahan dsitribusi konsentrasi radioisotop alam sangat terlihat perbedaannya, karena adanya perpindahan tanah yang dilakukan secara sengaja pada saat dicangkul sebelum ditanami sehingga ada perpindahan radioisotop dari satu tempat ke tempat yang lain. Untuk agroforestri dan kebun kapulaga konsentrasi dari radioisotop relatif tinggi, karena disini tidak ada pengolahan tanah dan akar-akar tanaman keras tersebut dapat menahan terjadinya erosi. Rendahnya konsentrasi radioisotop ^{137}Cs di hutan pinus Pasir Buncir, karena lokasi hutan yang tidak terlalu luas ini cukup curam, dan sifat daun-daun pinus yang jatuh ke permukaan tanah adalah asam sehingga tidak banyak rumput atau ilalang yang tumbuh disekitar tanaman pinus, akibatnya ketika turun hujan yang deras dapat membawa partikel-partikel tanah ke lokasi yang lebih rendah yaitu daerah persawahan yang tepat berada di bawah hutan pinus tersebut. Sawah yang terletak tepat di bawah hutan pinus dan kapulaga merupakan lokasi tempat penampungan hasil erosi dari lahan-lahan di sekitar swah yang teletaknya lebih tinggi. Persawahan ini adalah termasuk dalam area banjir, dimana setiap musim hujan daerah persawahan ini akan terendam banjir, sehingga banyak endapan/lumpur yang akan terbawa oleh arus banjir, akibatnya kandungan radioisotop alam ^{137}Cs di lokasi ini tidak tinggi.

Tabel 3. Lokasi penelitian dan nilai inventori untuk ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$

No.	LOKASI	POSISI		INVENTORI (Bq/m ²)					
		S	T	^{137}Cs	$^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$				
1.	Lahan Olahan (kebun cabe)	06° 45' 36"	106° 50' 25"	20,19	1989				
				116,59	3796				
				114,92	3048				
				95,06	2854				
				114,22	4246				
2.	Agroforestri	06° 45' 35"	106° 50' 40"	90,51	2103				
				104,44	2666				
				112,42	3502				
				83,06	3435				
				93,75	3006				
3.	Agroforestri	06° 45' 36"	106° 50' 42"	75,08	1971				
				112,60	3623				
				92,22	1538				
				151,57	4833				
				4.	Lahan olahan	06° 46' 12"	106° 51' 36"	127,90	2259
35,07	774								
57,11	1400								
5.	Lahan Olahan	06° 46' 25"	106° 51' 40"					60,18	2193
								67,66	1119
				27,53	2367				
				70,65	4019				
				182,00	5803				
6.	Lahan olahan	06° 46' 35"	106° 51' 45"	121,74	2653				
				100,84	3675				
				25,53	2100				
				7.	Hutan Pinus	06° 45' 50"	106° 52' 25"	52,29	4160
								70,23	5803
107,51	4994								
8.	Lahan tak diolah (Kebun kapulaga)	06° 45' 45"	106° 52' 15"					67,21	4127
								124,55	4763
				97,93	5119				
				9.	Sawah	06° 45' 51"	106° 51' 50"	106,89	3274
								63,33	2808
10.	Tanah olahan (Palawija)	06° 45' 36"	106° 51' 20"					99,2	3091
								107,03	3531
								61,64	2587
				11.	Agroforestry	06° 45' 37"	106° 51' 25"	102,88	5414
								110,43	3601
116,93	5839								
258,59	3496								
12.	Agroforestri	06° 45' 36"	106° 51' 20"					89,49	3648
				69,28	1770				
				105,08	3317				
				13.	Lahan olahan (palawija)	06° 45' 37"	106° 51' 25"	69,41	4242
								84,93	4327
97,64	3813								
124,99	4156								

Dengan menggunakan persamaan (i), diperoleh laju erosi/deposisi dari setiap lokasi seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan laju erosi/deposisi setiap lokasi penelitian

No.	LOKASI	POSISI		LAJU EROSI (t/ha.th)		KETERANGAN
		E	S	¹³⁷ Cs	²¹⁰ Pb _{ex}	
1.	Lahan olahan	06° 45' 36"	106° 50' 25"	-31,8	-27,8	Kebun cabe
2.	Agroforestri	06° 45' 35"	106° 50' 40"	-21,7	-28,2	Akasia
3.	Agroforestri	06° 45' 36"	106° 50' 42"	-17,7	-26,9	Akasia
4.	Lahan olahan	06° 46' 12"	106° 51' 36"	-26,4	-51,2	Singkong
5.	Lahan Olahan	06° 46' 25"	106° 51' 40"	-30,9	-30,1	Jagung,d,bwng
6.	lahan olahan	06° 46' 35"	106° 51' 45"	-38,2	-29,5	Timun,cabe
7.	Hutan pinus	06° 45' 50"	106° 52' 25"	-25,0	-11,8	Hutan lindung
8.	Kebun Kapulaga	06° 45' 45"	106° 52' 15"	-24,0	-13,7	Hutan sekunder
9.	Sawah	06° 45' 51"	106° 51' 50"	-25,3	-26,4	Daerah banjir
10.	Lahan olahan	06° 45' 36"	106° 51' 20"	-27,1	-26,3	Jagung,singk
11.	Agroforestri	06° 45' 37"	106° 51' 25"	-8,3	-15,1	Akasia
12.	Agroforesti	06° 45'36"	106° 51' 20"	-23,9	--29,1	Akasia
13.	Lahan olahan	06° 45'37"	106° 51' 25"	-22,0	-17,2	jagung

Melalui Tabel 4, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan ada perbedaan hasil perhitungan antara ¹³⁷Cs dan ²¹⁰Pb_{ex}, hal ini disebabkan karena radioisotop alam ¹³⁷Cs memberikan akumulasi laju erosi selama 50 tahun sedangkan ²¹⁰Pb_{ex} memberikan akumulasi laju erosi untuk kurun waktu selama 100 tahun, disamping itu persamaan yang digunakan untuk ²¹⁰Pb_{ex} masih menggunakan sistem untuk ¹³⁷Cs, sehingga hasil perhitungan untuk ²¹⁰Pb_{ex} masih perlu penyempurnaan. Berdasarkan pada Tabel 3, terlihat bahwa inventori dari radioisotop ¹³⁷Cs jauh lebih kecil dari ²¹⁰Pb_{ex}. Hal ini disebabkan karena radioisotop ¹³⁷Cs merupakan jatuhnya (*fallout*) hasil percobaan senjata nuklir yang terjadi hanya sekali, sedangkan radioisotop ²¹⁰Pb_{ex} merupakan hasil peluruhan panjang dari ²³⁸U yang terdapat di batuan hingga saat ini. Nilai inventori dari ¹³⁷Cs pada suatu saat akan habis karena adanya faktor peluruhan. Melalui Tabel 4, dapat dilihat bahwa erosi di subDAS Pasir Buncir ini cukup kritis, karena berdasarkan

keterangan dari penduduk di lokasi penelitian ini, setiap tahun subDAS Pasir Buncir ini akan selalu terjadi longsor dan banjir. Rusaknya subDAS Pasir Buncir ini juga karena adanya penambangan pasir yang tak terkendali, dimana banyak bukit-bukit subur yang seharusnya dapat menahan air hujan, dipangkas untuk diambil pasir gunungnya. Lahan olahan di suDAS Pasir Buncir ini memberikan kontribusi erosi yang cukup tinggi dibandingkan dengan lahan yang tidak diolah, karena tektur tanah di lahan olahan gembur ini sehingga mudah terbawa oleh air hujan. Beberapa lahan tidak dilahan (lokasi 2, 8 dan 12) memiliki laju erosi tinggi, karena lokasi tersebut sebelumnya pernah menjadi lahan olahan kemudian dijadikan agroforestri untuk mengurangi erosi yang terjadi di wilayah Pasir Buncir ini.

KESIMPULAN

Melalui hasil percobaan ini dapat diketahui bahwa lahan olahan mengalami erosi yang lebih besar dibandingkan dengan lahan yang ditanami oleh tanaman keras (lahan tak diolah). Metode ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ dapat diaplikasikan untuk menentukan memperkirakan laju erosi/deposisi. Untuk beberapa tahun kedepan penggunaan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ akan lebih bermanfaat, karena aktivitas dari ^{137}Cs akan semakin habis sehingga akan sulit untuk mendeteksinya, sedangkan radioisotop alam $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ akan selalu ada di alam ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dana dari Lembaga Non Departemen BATAN. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Kepala Bidang Industri dan Lingkungan serta rekan-rekan di subKelompok Erosi/Sedimentasi sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. SMITH, H.G and BLAKE, W.H., "Sediment Fingerprinting in Agricultural Catchments: A Critical re-examination of source discrimination and data correction", *Geomorphology*, 201, 177-191, (2014).
2. WALLING, D.E., "Recent advance in the use of environmental radionuclides in soil erosion investigation". *Nuclear Techniques Integrated Plant Nutrient, Water and Soil Management. (Proc. Vienna Symp., Oct. 2000)*, IAEA Publication CSP-11/C, IAEA, Vienna, 2002, 290-312
3. YANG, M.Y., DU, M., ZHAO, Q., MINAMI, K., AND HATTA, T., "Partitioning the contribution of sheet and rill erosion using Berillium-7 and Caesium-137, *Soil Science American Journal*, 70, 1579-1590 (2006).
4. COLLIN, A.L., WALLING, D.E., SICHINGABULA, H.M., & LEEKS, G.J.L., "Using ^{137}C Measurements to quantify soil erosion and redistribution rates for areas under different landuse in the Upper Kaleya River basin, southern Zambia", *Geoderma* 104, 2001, 229-323.
5. Laporan Akhir Pengelolaan DAS Cisadane Terpadu tahun 2010, BP DAS Citarum-Ciliwung, (2010)
6. WALLING, D.E., COLLIN, A.L., and SICHINGABULA, H.M., "Using unsupported lead-210 Measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small Zambia catchment", *Geomorphology*, 52, Elsevier, 2003, 193 - 213.
7. RAFIQ, M., AHMAD, M., IQBAL, N., TARIQ, J.A., AKRAM, W., and SHAFIQ, M., "Assessment of soil losses from managed and unmanaged sites in a subcatchment of Rawal Dam, Pakistan using fallout radionuclides", In: *Impact of soil conservation measures on erosion control and soil quality. IAEA-TECDOC-1665*. pp. 73-85, (2011)