

Laju Sedimentasi Dataran Banjir Sungai Cisadane di Dusun Kranggan Berdasarkan Profil Pb-210 *excess* dan Cs-137

Sedimentation Rate of the Cisadane River Floodplain in Kranggan Village Based on the Pb-210 excess and Cs-137 Profile

B. Aliyanta*, N. Suhartini, 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

Laju sedimentasi di dataran banjir merupakan salah satu komponen untuk menghitung sedimen budget daerah aliran sungai. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui status perkembangan sedimentasi di dataran banjir Sungai Cisadane. Sampel sedimen diambil di dua tempat berdekatan di dataran banjir Sungai Cisadane di Dusun Kranggan dengan interval 10 cm sampai kedalaman 100 cm. Kedua sampel sedimen digabungkan menjadi satu sampel komposit profil sedimen. Sampel profil sedimen dipreparasi dan diukur aktivitas radionuklida jatuhan Pb-210 *excess* dan Cs-137 dengan detektor energi rendah yang terpasang pada alat multichannel analyzer. Analisis aktivitas Pb-210 *excess* diperoleh melalui pengukuran Pb-210 total pada energi 46,5 keV, Pb-210 *supported* pada energi 351 keV dan Cs-137 diukur melalui energi 661 keV, setelah sampel ditempatkan pada tempat tertutup rapat dalam wadah selama satu bulan. Data profil Pb-210 *excess* digunakan untuk estimasi umur sedimen dengan model *constant rate of supply* (CRS) dan data Cs-137 dipakai sebagai chronostratigrafi melalui pembandingan puncak tertinggi Cs-137 pada tahun 1964. Berdasarkan hasil penelitian, telah terjadi kecenderungan perubahan laju sedimentasi dan dapat dibagi dalam tiga kurun waktu yaitu dari kurun waktu tahun 1941 sampai 1983 terjadi laju sedimentasi 4,09 kg/m²/tahun, dari tahun 1983 sampai 2002 terjadi laju sedimentasi 15,61 kg/m²/tahun dan dari tahun 2002 sampai 2019 terjadi laju sedimentasi 29,36 kg/m²/tahun. Dalam bentuk laju deposisi sedimen berturut-turut adalah 0,54 cm/tahun, 2,11 cm/tahun dan 3,11 cm/tahun.

Kata kunci: Pb-210 *excess*, Cs-137, CRS, umur sedimen, laju sedimentasi

ABSTRACT

The sedimentation rate in floodplains is one component to calculate watershed sediment budgets. This study was conducted to determine the status of sedimentation development in the Cisadane River floodplain. Sediment samples were taken in two adjacent places in the floodplain of the Cisadane River in Kranggan hamlet at 10 cm intervals to 100 cm depth. The two sediment samples were combined into one sediment profile composite sample. The sediment profile sample was prepared and measured for Pb-210 *excess* and Cs-137 radionuclide activity with a low energy detector installed on a multichannel analyzer. Pb-210 *excess* activity analysis was obtained through total Pb-210 measurements at 46.5 keV energy, Pb-210 *supported* at 351 keV energy, and Cs-137 at 661 keV energy, after the sample was placed in a tightly closed the marinelli for one month. Pb-210 *excess* profile data is used for estimating sediment age with the constant rate of supply (CRS) model and data Cs-137 is used as a chronostratigraphy through the highest peak marking Cs-137 in 1964. There has been a tendency for changes in the rate of sedimentation observed in this study, and can be divided into three periods, namely from the period 1941 to 1983 there was a sedimentation rate of 4.09 kg/m²/yr, from 1983 to 2002 there was a sedimentation rate of 15.61 kg/m²/yr and from 2002 to 2019 there was a sedimentation rate of 29.36 kg/m²/yr. In the form of sediment deposition rates was 0.54 cm/yr, 2.105 cm/yr and 3.11 cm/yr, respectively.

Keywords: Pb-210 *excess*, Cs-137, CRS, sediment age, sedimentation rate

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir perhatian terhadap permasalahan terkait dengan sedimentasi di daratan banjir cukup berkembang. Hal ini merefleksikan adanya keinginan untuk mengembangkan pemahaman evolusi dataran banjir, pengenalan lebih akan peran penting dari dataran banjir sungai sebagai salah satu tempat hilangnya sedimen halus dalam sistem fluvial. Terbentuknya dataran banjir adalah proses yang kompleks termasuk adanya migrasi lateral dan terbentuknya deposit di tepian sungai secara vertikal. Dominasi pengaruh dari kedua proses tersebut akan berubah sebagai respon pada luasnya penyebab, termasuk besarnya banjir, frekuensi kejadian banjir, besar dan jenis beban sedimen, morfologi saluran, lebar dan kemiringan dasar lembah dan sifat sedimen alluvial. Ketertarikan pada sedimentasi *overbank* selalu terfokus pada pemahaman akan evolusi dataran banjir dan pentingnya dataran banjir sebagai sedimen *sink* (tempat sedimentasi). Berbagai pendekatan berbeda telah dikembangkan untuk mengumpulkan informasi tentang laju sedimentasi pada rentang waktu yang berbeda [1].

Berdasarkan perkembangan teknologi dan pemanfaatannya, pengukuran laju sedimentasi pada awalnya banyak dilakukan dengan menggunakan radionuklida jatuhan Cs-137. Pendekatan dengan Cs-137 menyandarkan pada pola jatuhan dari atmosfer yang telah diketahui sebagai akibat dari percobaan uji bom yang dimulai tahun 1954 dan puncaknya pada tahun 1963. Berdasarkan dua periode ini dapat diidentifikasi sebagai gambaran puncak-puncak aktivitas Cs-137 atau dengan kata lain penggunaan Cs-137, penghitungan umur dilakukan dengan posisi dari puncak-puncak aktivitas spesifik dari Cs-137 dalam profil sedimen, di mana puncak tersebut dapat diartikan mewakili tahun 1963/64 dan tahun 1986 untuk daerah yang berdampak kecelakaan Chernobyl tahun 1986 [2], [3].

Pada umumnya, pemanfaatan teknologi radionuklida jatuhan seperti Cs-137 dan Pb-210 *excess* ini akan lebih mudah dilakukan pada sedimen-sedimen di danau atau sedimen laut dalam yang diduga dan diasumsikan merupakan tempat-tempat yang tidak banyak mengalami gangguan secara stratifikasi per lapisannya [4]. Sedimentasi di danau atau di laut dalam, radionuklida terikat kuat pada partikel halus sedimen dan akan mengendap pada lokasi tersebut

dan relatif tidak mengalami gangguan redistribusi, dibandingkan pada daerah dataran banjir yang sangat dipengaruhi oleh besar arus air sungai yang menggenangnya dikala hujan lebat terjadi di hulu.

Oleh karenanya, untuk mengaplikasikan penanggalan umur sedimen perlu adanya beberapa asumsi dan pertimbangan dalam menganalisis dan menginterpretasikan data pengukuran. Sedimen di dataran banjir umumnya terdiri dari lebih banyak partikel halus yang terendapkan pada daerah inundasi/genangan selama proses penyusutan aliran sungai dari kondisi banjir ke kondisi normal. Partikel halus ini umumnya akan banyak mengandung Pb-210 *excess* dan Cs-137 jika berasal dari tanah permukaan yang tererosi akibat aktivitas pertanian. Namun, dapat juga akan mengandung sangat sedikit atau bahkan tidak mengandung Pb-210 *excess* dan Cs-137 sama sekali bila partikel halusnya dominan berasal dari lapisan *sub-soil*, cucian pasir hasil tambang maupun berasal dari erosi *river bank*. Dari berbagai hasil penelitian, diketahui bahwa aktivitas Pb-210 *excess* umumnya jauh lebih tinggi dari aktivitas Cs-137 [5], [6], [7] apalagi di wilayah belahan bumi selatan [8], [9], [10].

Dengan asumsi pada tempat per lapisan sedimen di dataran banjir tidak banyak mengalami gangguan, maka besar kecilnya aktivitas Pb-210 *excess* pada per lapisan sedimen diakibatkan adanya perbedaan proporsi percampuran sumber potensial tersebut yaitu percampuran dari hasil erosi tanah permukaan, lapisan *sub-soil*, cucian pasir maupun dari erosi *river bank* serta faktor peluruhan [11]. Dengan asumsi demikian, profil aktivitas dari radionuklida Pb-210 *excess* sebagai hasil dari aktivitas Pb-210 *excess* dari atmosfer yang diasumsikan tetap, ditambah dengan sedimen dari sumber potensial yang berasal dari hulu. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan profil Pb-210 *excess core* sedimen untuk penanggalan umur sedimen dataran banjir dengan mempertimbangkan laju fluks konstan, yaitu besaran laju suplai Pb-210 *excess* dalam per lapisan sedimen tetap. Hal ini memberikan pemahaman bahwa laju sedimentasi dan aktivitas dari jatuhan Pb-210 *excess* dari atmosfer dapat berubah terhadap waktu. Terkait dengan aktivitas Cs-137 dalam profil sedimen. Acap kali puncak aktivitas spesifik dari Cs-137 dalam profil sedimen di dataran banjir digunakan sebagai pembanding [1] terhadap hasil penanggalan umur berdasarkan pada Pb-210 *excess*. Puncak tertinggi

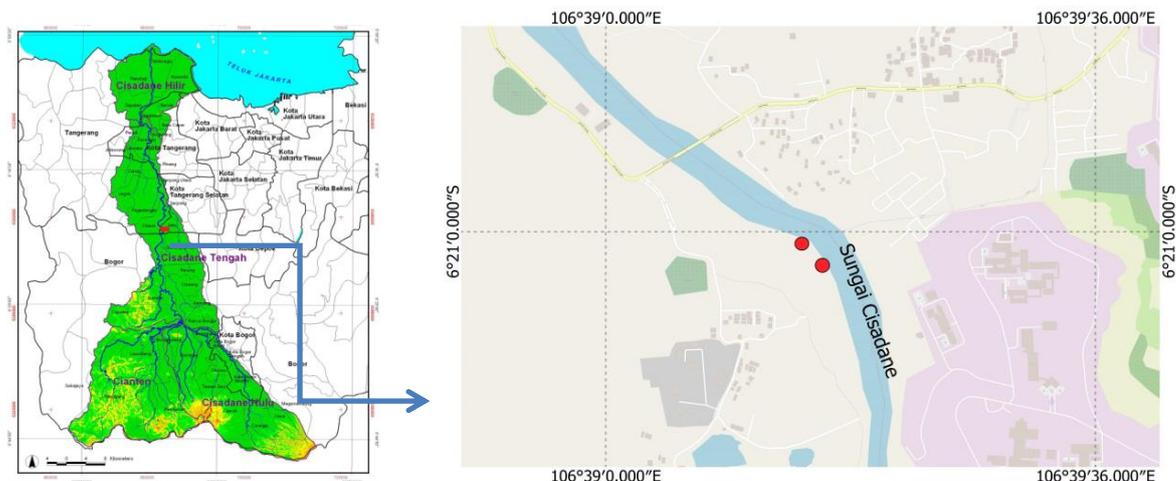
paling bawah dari aktivitas Cs-137 dalam suatu profil sedimen diasumsikan sebagai awal mula terjadinya atau *bench marking* jatuhnya Cs-137 yaitu tahun 1964. Dengan hipotesa demikian, maka diharapkan kedekatan hasil dari *bench marking* Cs-137 dan hasil estimasi penanggalan umur per lapisan sedimen berdasar Pb-210 *excess*, dipertimbangkan sebagai penanggalan yang dapat dipercaya sebagai nilai yang reliabel di lapangan.

BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian terletak di daerah sub-DAS Cisadane Tengah. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Di sekitar lokasi ini aliran Sungai Cisadane berkelok-kelok karena proses geologi yang panjang. Lokasi sedimen berasal dari dua *core* sedimen di satu lokasi dataran banjir Sungai Cisadane dekat

dengan Dusun Kranggan, dan berjarak sekitar 500 m dari jembatan Cisadane di Dusun Kranggan. Jembatan Dusun Kranggan yang menghubungkan akses jalan lingkar selatan Muncul-Cicangkal. Lokasi dataran banjir ini dipilih dengan mempertimbangkan dari pengamatan bahwa lokasi ini akan tergenang saat aliran air Sungai Cisadane lebih keruh dari biasanya dan alirannya besar, serta mudah dijangkau menuju lokasi. Pertimbangan lain adalah lokasi ini merupakan daerah deposisi. Lokasi ini merupakan dataran banjir yang mempunyai luas kurang lebih 310 m² dengan ditumbuhi rumput. Sampel *core* sedimen diambil sebagai sampel komposit dari 2 *core* yang berdekatan tempatnya (berjarak 25 meter) untuk memperoleh per lapisan sedimen kering yang cukup atau lebih dari 400 g kering sedimen, di mana disesuaikan dengan sampel standar yang ada.



Gambar 1. Lokasi sampling sedimen (dua lingkaran merah) di dalam DAS Cisadane (hijau)

Pengambilan sampel, preparasi dan analisis

Sedimen diambil secara *increment* dengan interval kedalaman 10 cm, sedimen dikeluarkan dari *core* dan ditaruh di dalam kantong contoh dan diberikan label sesuai dengan interval kedalamannya. Pengambilan sampel dilakukan setiap interval kedalaman 10 cm sampai kedalaman 100 cm. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Sampel sedimen yang telah diambil tiap interval kedalaman 10 cm ini dipreparasi di laboratorium dengan diangin keringkan selama 3 hari. Sampel dipanaskan dengan oven pada suhu 60 °C selama 1-2 hari. Sampel yang telah kering tersebut didinginkan dan digerus untuk memisahkan butirannya, diayak

lolos 1 mm ayakan, ditimbang seberat 400 g dan ditempatkan di tabung merineli dan ditutup rapat dan dibiarkan kurang lebih 1 bulan agar tercapai keseimbangan antara Ra-226 dan anak luruhnya Pb-210. Setelah sebulan dalam kondisi tertutup rapat, sampel diukur dengan spektrometer gamma *Multichannel analyzer* (MCA) dengan efisiensi relatif 30 % di laboratorium cacah latar rendah Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-BATAN [12]. Masing-masing sampel diukur aktivitas Pb-210 *excess* melalui pengukuran aktivitas gamma pada energi 46,5 keV sebagai representasi Pb-210 total dikurangi dengan aktivitas pada energi 351 keV (Bi-214) sebagai representasi Pb-210 *supported* [13], [14], [15].

Model analisis penanggalan umur sedimen

Estimasi laju sedimentasi sedimen dari profil distribusi kedalaman Pb-210 *excess* yang didokumentasi pada suatu lokasi yang dipelajari, membutuhkan penggunaan model untuk membangun kronologi hubungan antara ketebalan sedimen dan perbedaan umur sedimen dari suatu *core*. Secara teoritis [2], telah berkembang 3 model penanggalan berdasarkan profil Pb-210 *excess*, yang pada awalnya dikembangkan untuk estimasi penanggalan umur deposit sedimen di danau, yaitu model fluks konstan yang terdiri dari model sedimentasi tetap/konstan (CFCS); model konsentrasi awal tetap (CIC) dan model laju suplai (*rate of supply*) tetap (CRS).

Model fluks konstan CFCS

Model fluks konstan dan laju sedimentasi konstan dikembangkan untuk menginterpretasi laju penurunan aktivitas Pb-210 *excess* terhadap kedalaman pada sedimen di danau dan atau di laut dengan asumsi fluks Pb-210 *excess* dari air ke sedimen adalah tetap dan laju sedimentasi juga tetap. Laju sedimentasi R (kg/m²/tahun) dapat dihitung dari gradien garis hubungan antara aktivitas Pb-210 *excess* (Bq/kg) terhadap kedalaman massa z (kg/m²) dengan persamaan berikut:

$$A(z) = A(0) e^{-\frac{\lambda z}{R}} \quad (1)$$

dimana A(z) (Bq/kg) adalah aktivitas Pb-210 *excess* pada kedalaman z, A(0) (Bq/kg) adalah aktivitas Pb-210 *excess* pada permukaan, λ adalah konstanta peluruhan Pb-210 yaitu 0,03114 [16].

Model CIC

Model konsentrasi awal tetap mengasumsikan bahwa konsentrasi Pb-210 *excess* dalam deposit sedimen adalah konstan, dan oleh karena itu kenaikan fluks partikel sedimen dari kolom air akan disertai dengan kenaikan fluks secara proporsional dari air ke sedimen [17]. Dalam skenario ini, profil Pb-210 *excess* akan menunjukkan penurunan aktivitas *monotonic* terhadap kedalaman karena proses peluruhan alam mengasumsikan tidak ada lagi redistribusi sedimen setelah sedimen terdeposit. Dengan membandingkan konsentrasi di setiap kedalaman dengan konsentrasi di permukaan dapat diestimasi dari persamaan peluruhan radioaktif. Penurunan aktivitas Pb-210 *excess* terhadap kedalaman z dapat diwakili dengan:

$$A(z) = A(0)e^{-\lambda t} \quad (2)$$

dimana t adalah umur (tahun) sedimen pada kedalaman z dengan konsentrasi

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A(0)}{A(z)}\right) \quad (3)$$

Model constant rate of supply (CRS)

Model CRS [12], [14] mengasumsikan bahwa suplai Pb-210 *excess* ke sedimen adalah tetap sepanjang waktu, dan profil Pb-210 *excess* merefleksikan interaksi antara laju sedimentasi dan peluruhan radioaktif. Dalam hal ini laju sedimentasi dan konsentrasi awal Pb-210 *excess* dalam sedimen dapat berubah setiap saat. Menggunakan model ini, umur sedimen pada kedalaman z dapat diestimasi dengan:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{I(0)}{I(z)}\right) \quad (4)$$

dimana I(0) (Bq/m²) adalah inventori total Pb-210 *excess* di keseluruhan sedimen *core* dan I(z) adalah inventori total Pb-210 *excess* dalam sedimen *core* di bawah kedalaman z.

Laju sedimentasi R (kg/m²/tahun), diperoleh langsung dengan,

$$R = \lambda \frac{I(z)}{A(z)} \quad (5)$$

Jika ada ketidaksesuaian antara hasil dari CRS dan kronostratigrafi dari Cs-137, informasi yang diberikan oleh Cs-137 dapat digabungkan dalam model CRS sebagai *composite model* CRS atau C-CRS *model* untuk memperbaiki hasil akhir. Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut:

Jika x₁ dan x₂ adalah kedalaman pada *core* yang diketahui umurnya, kemudian rata-rata fluks Pb-210 *excess* (P) selama periode dalam potongan *core* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{\lambda \Delta_{x_1-x_2}}{e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2}} \quad (6)$$

dengan λ Δ_{x₁-x₂} adalah inventori Pb-210 antara x₁ dan x₂. Jika lapisan sedimen kedalaman x terletak diantara x₁ dan x₂, penanggalan umur lapisan ini dapat dihitung dengan persamaan berikut dengan asumsi fluks *uniform* dalam potongan (x₁-x₂).

$$\frac{P}{\lambda} e^{-\lambda t} = \frac{P}{\lambda} e^{-\lambda t_1} + \Delta_{x_1-x} \quad (7)$$

dengan Δ_{x₁-x} adalah inventori Pb-210 *excess* antara x₁ dan x. Laju sedimentasi pada saat t,

akhirnya dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan:

$$R = \frac{P e^{-\lambda t}}{A(x)} \quad (8)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess

Hasil pengukuran aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess terhadap kedalaman sampel sedimen dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 terlihat bahwa aktivitas Cs-137 bervariasi dari tidak terdeteksi pada kedalaman antara 50-70 cm sampai tertinggi pada interval sedimen 80-90 cm. Sedangkan aktivitas yang lain antara 0,2 Bq/kg sampai 0,72 Bq/kg. Aktivitas dari Pb-210 total juga cukup bervariasi dari 24,05 Bq/kg sampai 49,79 Bq/kg, dan variasi dari Pb-210 supported lebih kecil karena merupakan kontribusi langsung dari jenis batuan sekitar yaitu berkisar dari 8 Bq/kg sampai 13 Bq/kg. Dari Tabel 1 juga terlihat bahwa variasi Pb-210 excess mempunyai kisaran dari 11 Bq/kg sampai 41 Bq/kg. Berbeda dengan aktivitas Cs-137, aktivitas Pb-210 excess dapat terukur di semua per lapisan kedalaman coring sedimen, meskipun sama-sama berfluktuasi dari permukaan sedimen sampai kedalaman 100 cm.

Profil lengkap dari aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess terhadap kedalaman sampel sedimen dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Secara umum, baik profil Cs-137 maupun profil Pb-210 excess menunjukkan profil yang berfluktuasi dan tidak ada kecenderungan naik turunnya aktivitas terhadap kedalaman. Pada kedalaman 50 cm sampai 70 cm, aktivitas Cs-137 tidak terdeteksi karena di bawah limit deteksi alat, sementara aktivitas Pb-210 excess tetap terukur seperti terlihat pada Gambar 3. Hal ini sangat dimungkinkan karena sumber jatuhnya radionuklida Cs-137 sudah tidak ada lagi sejak tahun 1963/64, sedangkan sedimen terdeposisi pada lokasi tersebut banyak dikontribusikan oleh sumber potensial hasil erosi seperti lapisan *sub-soil*, cucian penambangan pasir maupun berasal dari erosi *river bank* yang tidak mengandung Cs-137. Sedangkan, sedimen pada lapisan permukaan sampai kedalaman sekitar 50 cm didominasi oleh erosi lembaran akibat dari aliran permukaan, dan

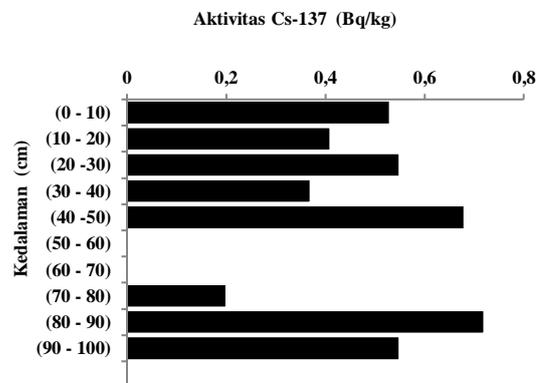
partikel tanah tererosi hanyut menuju aliran utama sebagai sedimen suspensi. Kejadian demikian sangat mungkin terjadi dengan adanya perubahan lahan, dari tidak diolah menjadi lahan olah dalam kurun waktu tersebut.

Lain halnya dengan Pb-210 excess, meskipun ada kontribusi dari sumber potensial tersebut yang tidak mengandung Pb-210 excess (*sangat kecil*), tetapi Pb-210 excess tetap diproduksi terus bergantung pada batuan sekitar. Seperti diketahui bahwa aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess per lapisan sedimen sangat dipengaruhi oleh sumber sedimen potensial yang ada. Puncak aktivitas Cs-137 tertinggi terletak pada interval kedalaman 80-90 cm (Gambar 2), sedangkan puncak aktivitas Pb-210 excess tertinggi terletak pada interval kedalaman 70-80 cm (Gambar 3).

Tabel 1. Hasil pengukuran radionuklida jatuhnya Cs137 dan Pb-210

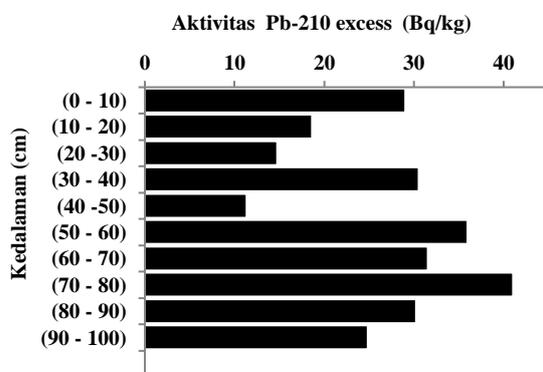
Kedalaman (cm)	Cs-137 (Bq/kg)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-210 supp (Bq/kg)	Pb-210 excess (Bq/kg)
(0-10)	0,53	40,65	11,62	29,03
(10-20)	0,41	28,44	9,79	18,67
(20-30)	0,55	28,44	13,87	14,73
(30-40)	0,37	39,23	8,68	30,56
(40-50)	0,68	24,05	12,71	11,34
(50-60)	0,00	45,73	9,77	35,95
(60-70)	0,00	43,43	11,88	31,55
(70-80)	0,20	49,79	8,73	41,07
(80-90)	0,72	42,07	11,85	30,23
(90-100)	0,55	34,23	9,36	24,88

Keterangan: angka 0,00 pada aktivitas Cs-137 berarti tidak terdeteksi



Gambar 2. Profil kedalaman sedimen dan aktivitas Cs-137

Lokasi pengambilan sampel sedimen di dataran banjir ini termasuk dalam wilayah tengah dari DAS Cisadane. Di wilayah tengah ini, disinyalir sebagai sumber utama sedimen selain dari hasil erosi daerah hulu, yang terendapkan pada dataran banjir di daerah hilir karena di sekitar tempat ini banyak terdapat kegiatan penambangan galian C, dan aktivitas ini sudah berlangsung sejak tahun 1970-an sampai sekarang. Seiring dengan perkembangan kota BSD yang pesat mulai tahun 1990-an, penambangan galian C di wilayah rumpin semakin marak aktivitasnya. Kegiatan penambangan yang dilakukan terbagi menjadi dua, yaitu penambangan tradisional yang dikelola oleh masyarakat dan penambangan modern oleh industri, yang berupa pasir, batu split, batu belah, abu dan lain-lain. Untuk lokasinya pun terbagi dua yaitu di sekitar bantaran Sungai Cisadane dan beberapa bukit di sekitar Kecamatan Rumpin.



Gambar 3. Profil kedalaman dan aktivitas Pb-210 excess

Salah satu penambangan tradisional yang dikelola masyarakat berada di kampung Cibodas, yang memanfaatkan bantaran Sungai Cisadane untuk menambang pasir dan batu belah. Oleh karena itu, sangat mungkin profil aktivitas radionuklida jatuhnya dalam sedimen dataran banjir sangat erat kaitannya dengan perkembangan wilayah sekitarnya. Utamanya, terkait dengan aktivitas pertambangan galian C di hulu sekitar lokasi sampling sedimen.

Penanggalan umur sedimen

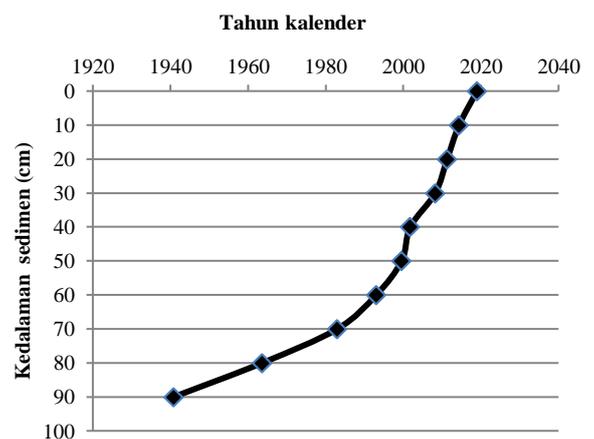
Penanggalan umur sedimen menggunakan model umum yang sering dipakai yaitu CRS [3], [18], [19]. Dengan mengasumsikan suplai sedimen tetap yang terrefleksi dari profil aktivitas Pb-210 excess sebagai hasil dari resultante dari

jatuhan Pb-210 excess atmosfer dan suplai sedimen dari berbagai sumber erosi dan sumber potensial sedimen lain dari hulu ke dataran banjir. Dengan kata lain, dapat dinyatakan bahwa laju deposisi sedimen pada dataran banjir tersebut senantiasa berubah.

Hasil penanggalan umur sedimen berdasarkan aktivitas Pb-210 excess tiap interval 10 cm per lapisan sedimen dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4. Dari Tabel 2 dan Gambar 4 tersebut terlihat, bahwa umur sedimen paling atas/permukaan dengan kedalaman 0 cm berumur 0 tahun, yaitu umur pada tahun mana sampel sedimen diambil yaitu tahun 2019 bulan Januari. Umur sedimen yang dihitung melalui interval kedalaman merupakan umur sedimen pada kedalaman dengan batas interval atas, misal pada interval kedalaman sedimen 0-10 cm, berarti umur sedimen yang diukur adalah pada kedalaman 0 cm (di permukaan sedimen), 10-20 cm berarti umur sedimen yang terukur pada kedalaman 10 cm dan seterusnya.

Interval Kedalaman (cm)	Densitas (kg/m ³)	Kalender (th)	Laju Sedimentasi (kg/m ² /th)	Laju Deposisi (cm/th)
(0-10)	1040,26	2019,00	24,13	2,32
(10-20)	949,35	2014,37	32,50	3,42
(20-30)	1096,10	2011,31	37,48	3,42
(30-40)	959,74	2008,25	16,43	1,71
(40-50)	779,22	2001,80	36,26	4,65
(50-60)	631,17	1999,58	10,67	1,69
(60-70)	855,84	1993,04	9,93	1,16
(70-80)	812,99	1983,01	5,59	0,69
(80-90)	681,82	1963,68	4,17	0,61
(90-100)	806,49	1940,88	2,50	0,31

Tabel 2. Hasil penanggalan umur sedimen berdasarkan model CRS



Gambar 4. Tahun kalender umur lapisan sedimen

Berdasarkan umur sedimen tersebut dapat diestimasi tahun kalender pada per lapisan sedimen yang dimaksud, dengan nilai desimal dapat dikonversikan dalam bentuk bulan. Dari tiap interval kedalaman 10 cm, ternyata memberikan nilai estimasi umur sedimen yang tidak berbanding lurus dengan kedalamannya dan ini memang sesuai dari bentuk persamaannya yaitu bergantung dari perbandingan logaritmik antara $I(0)$ dan $I(z)$.

Menurut P.Du dan D.E Walling, hasil penanggalan umur dengan Pb-210 *excess* perlu *dicrosscheck* dengan chronostratifikasi Cs-137 dalam profil sedimen, bila ada kesesuaian hasil tidak perlu koreksi. Berdasarkan marking puncak tertinggi dari aktivitas Cs-137 seperti terlihat pada Gambar 2, terjadi pada interval kedalaman 80-90 cm, yang mengindikasikan bahwa tahun tersebut berdasarkan chronostratifikasi Cs-137 adalah tahun 1964 [1]. Hal ini sangat mendekati dengan hasil penanggalan Pb-210 *excess* pada kedalaman tersebut menghasilkan estimasi terjadi pada tahun 1963,67 atau sangat mendekati tahun 1964. Hasil estimasi penanggalan umur sedimen ini dapat digunakan tanpa ada koreksi lebih lanjut.

Analisis Laju Sedimentasi dan laju deposisi sedimen

Laju sedimentasi tiap interval per lapisannya cukup dihitung dengan persamaan berikut dan dinyatakan dengan satuan kg/m²/tahun yaitu:

$$R = \lambda \frac{I(z)}{A(z)} \quad (9)$$

Untuk lebih mudah dipahami dalam kondisi riil di lapangan, maka laju sedimentasi juga dapat dinyatakan dalam parameter densitas kering sedimen dikalikan dengan tebal/laju deposisi sedimen ($R = \text{densitas kering} * \text{laju deposisi}$). Dengan mengetahui densitas kering tiap interval lapisan sedimen, maka laju deposisi sedimen juga dapat dihitung dan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Dengan melihat Tabel 3, dapat diketahui adanya laju sedimentasi yang bervariasi dari besaran 2,50 kg/m²/tahun sampai lebih dari 37 kg/m²/tahun. Kenaikan laju sedimentasi teramati meningkat secara signifikan sejak tahun sekitar 2002 (2001,8). Berdasarkan visual Gambar 4 dan Tabel 3 dapat dipertimbangkan telah terjadi perubahan laju sedimentasi dari kecil menuju lebih besar, dan dapat dikelompokkan menjadi 3

interval kedalaman yaitu dari kedalaman 70-90 cm, 40-70 cm dan 0-40 cm.

Tabel 3. Densitas tiap interval, laju sedimentasi, deposisi sedimen

Interval Kedalaman (cm)	Pb-210 excess (Bq/m ²)	Inventori total, I (z)	Umur (tahun)	Tahun Kalender
(0-10)	3019,87	22597,84	0,00	2019,00
(10-20)	1772,75	19577,96	4,63	2014,37
(20-30)	1614,23	17805,21	7,69	2011,31
(30-40)	2932,70	16190,98	10,75	2008,25
(40-50)	883,25	13258,27	17,20	2001,80
(50-60)	2269,30	12375,02	19,42	1999,58
(60-70)	2699,89	10105,73	25,96	1993,04
(70-80)	3338,80	7405,83	35,99	1983,01
(80-90)	2060,80	4067,03	55,32	1963,68
(90-100)	2006,23	2006,23	78,12	1940,88

Laju sedimentasi rata-rata dari rentang kedalaman 70-90 cm adalah rata-rata nilai laju sedimentasi dari interval 90-100 cm, 80-90 cm dan 70-80 cm. Laju sedimentasi rata-rata dari rentang kedalaman 40-70 cm adalah rata-rata nilai laju sedimentasi dari interval 40-50 cm, 50-60 cm, 60-70 cm dan 70-80 cm. Laju sedimentasi rata-rata dari rentang kedalaman 0-40 cm adalah rata-rata nilai laju sedimentasi dari interval 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm dan 40-50 cm. Dengan menghubungkan dengan penanggalan sedimen, maka laju sedimentasi rata-rata dari kurun waktu tahun sekitar 1941 sampai 1983 adalah 4,09 kg/m²/tahun, dari tahun 1983 sampai 2002 adalah 15,61 kg/m²/tahun dan dari tahun 2002 sampai 2019 adalah 29,36 kg/m²/ tahun. Dengan cara sama diperoleh laju deposisi sedimen dari kurun waktu tahun sekitar 1941 sampai 1983 adalah 0,54 cm/tahun, dari tahun 1983 sampai 2002 adalah 2,11 cm/ tahun dan dari tahun 2002 sampai 2019 adalah 3,11 cm/ tahun. Berdasarkan nilai-nilai ini dapat dikatakan bahwa laju deposisi sedimen selama kurang lebih 18 tahun terakhir adalah 3,11 cm/tahun. Nilai ini terletak diantara nilai laju sedimentasi yang diperoleh dari daerah dataran banjir Sungai Ciujung Hulu di lokasi 1 yang terletak di Dusun Kedung Agung Kecamatan Kalanganyar yaitu 2,83 cm/tahun dan di lokasi 2 yang terletak di kampung Cilangkap Kecamatan Kalanganyar yaitu 3,23 cm/tahun [11]. Ada kecenderungan yang sama, bahwa laju sedimentasi maupun laju deposisi sedimen dataran banjir sungai Cisadane dan Sungai Ciujung mengalami perubahan semakin meningkat dari tahun ke tahun.

KESIMPULAN

Profil aktivitas radionuklida jatuhnya Cs-137 dan Pb-210 *excess* pada sedimen dataran banjir di Dusun Kranggan sangat berfluktuasi terhadap kedalaman, dan tidak menunjukkan adanya kecenderungan menurun secara eksponensial dari lapisan atas ke bawah. Hal ini sangat mungkin karena adanya perubahan prosentasi kontributor sumber sedimen potensial di daerah hulu, seperti erosi *river bank* dan aktivitas panambangan galian C. Model persamaan CRS (*constant rate of supply*) dipilih dan telah digunakan untuk estimasi umur sedimen tiap interval kedalaman berdasarkan dengan profil Pb-210 *excess*. Hasil estimasi ini ternyata mendekati dengan hasil *bench marking* puncak Cs-137 pada tahun 1964. Estimasi dari laju sedimentasi sedimen diperoleh adanya kecenderungan terjadinya peningkatan laju sedimentasi secara signifikan sejak tahun 1990-an. Ada tiga kecenderungan perubahan rata-rata laju sedimentasi sedimen yang teramati dari penelitian ini yaitu dari kurun waktu tahun 1941 sampai 1983 sebesar 4,09 kg/m²/tahun, dari tahun 1983 sampai 2002 sebesar 15,61 kg/m²/tahun dan dari tahun 2002 sampai 2019 sebesar 29,36 kg/m²/tahun. Bila dikonversikan dalam bentuk laju deposisi sedimen, kecenderungan kurun waktu tersebut berturut-turut adalah 0,54 cm/tahun; 2,11 cm/tahun; dan 3,11 cm/tahun. Peningkatan laju deposisi sedimen dataran banjir Sungai Cisadane di Dusun Kranggan ini menggambarkan adanya kerusakan lingkungan terestrial yang menambah beban sedimen suspensi dari tahun ke tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh staf terkait dalam kelompok erosi di Bidang Industri dan lingkungan, diantaranya Bapak Darman yang telah membantu dalam sampling dan preparasi serta penyiapan peralatan lapangan lain. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih, penelitian ini terlaksana atas dukungan dana litbang PAIR-BATAN, APBN tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Du, D.E. Walling, "Using Pb measurements to estimate sedimentation rates on river flood plains", *J. Environ. Radioact.*, vol. 103, pp. 59–75, 2012.
- [2] A.R. Van Eaton, A.R. Zimmermerman, J.M. Jaeger, "A novel application of radionuclides for dating sediment cores from sandy, anthropogenically disturbed estuaries", *Marine Freshw. Res.*, vol. 61, no. 11, pp. 1268–1277, 2010.
- [3] V. Golosov, D.E. Walling, "Using Fallout radionuclides to investigate recent overbank sedimentation rates on river floodplains: an overview", *Sediment Dynamics from the Summit to the Sea*, pp. 11–14, 2015.
- [4] L. Mabit *et al.*, "Earth-science reviews fallout ²¹⁰Pb as a soil and sediment tracer in catchment sediment budget investigations: a review", *Earth Sci. Rev.*, vol. 138, pp. 335–351, 2014.
- [5] M. Benmansour *et al.*, "Assessment of soil erosion and deposition rates in a moroccan agricultural field using fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb ex", *J. Environ. Radioact.*, vol. 115, pp. 97–106, 2013.
- [6] B. Aliyanta, "Kajian komparatif parameter kualitas tanah di beberapa tataguna lahan sub DAS Cisadane Hulu dengan Pb-210 *excess* dan Cs-137 comparative study of soil quality parameters on several *excess* and Cs-137", *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 13, pp. 113–124, 2015.
- [7] M. Moustakim *et al.*, "Use of Cesium-137 re-sampling and *excess* Lead-210 Techniques to assess changes in soil redistribution rates within an agricultural field in nakhla watershed" *J. African Earth Sci.*, vol. 156, pp. 158–167, 2019.
- [8] B. Aliyanta, R. Suprpto, "Estimasi laju erosi lahan berlereng di kabupaten nganjuk dengan teknik ¹³⁷Cs", *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 5, pp. 129–146, 2009.
- [9] B. Aliyanta, "Teknik Pb-210 *excess* untuk estimasi laju erosi lahan berlereng di Kabupaten Nganjuk yang lebih akurat", *J. Ilm. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 10, pp. 81–92, 2014.
- [10] N. Rabesiranana *et al.*, "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.
- [11] B. Aliyanta, N. Suhartini, “Laju sedimentasi di dataran banjir sungai ciujung hulu berdasarkan profil Pb-210 excess”, *J. Ekplorium*, vol. 39, pp. 27–38, 2018.
- [12] L. Mabit, M. Benmansour, D.E. Walling, “Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides and ^7Be for assessing soil erosion and sedimentation”, *J. Environ. Radioact.*, vol. 99, no. 12, pp. 1799–1807, 2008.
- [13] M. Smith, S.J. Bentley, “Sediment capture in flood plains of the mississippi river : a case study in cat island national wildlife refuge, louisiana”, *Sediment Dynamics from the Summit to the Sea*, pp. 11–14, 2015.
- [14] M. Astner, H. Sahli, “Dating of sediments from four swiss prealpine lakes with ^{210}Pb determined by gamma-spectrometry : progress and problems”, vol. 145, pp. 78 – 94, 2015.
- [15] P. Schuller *et al.*, “Using ^{137}Cs and ^{210}Pb ex and other sediment source fingerprints to document suspended sediment sources in small forested catchments in South-Central Chile”, *J. Environ. Radioact.*, vol. 124, pp. 147–159, 2013.
- [16] B. Aliyanta dkk., “Estimasi laju deposisi sedimen di muara gembong Sungai Citarum”, *Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 14, no. 1, pp. 11–19, 2018.
- [17] P.G. Appleby, “Radiometric dating of sediment records in european mountain lakes”, *J. Limnol.*, vol. 59, no. SUPPL. 1, pp. 1–14, 2000.
- [18] M. Štok *et al.* , “Correcting for potential ^{222}Rn loss in ^{210}Pb dating of sediments from the South Adriatic pit”, *Quat. Geochronol.*, vol. 18, pp. 93 – 98, 2013.
- [19] P.N. Owens, D.E. Walling, G.J.L. Leeks, “Use of floodplain sediment cores to investigate recent historical changes in overbank sedimentation rates and sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK”, *CATENA*, vol. 36, pp. 21–47, 1999.

