

Laju Sedimentasi di Dataran Banjir Sungai Ciujung Hulu Berdasarkan Profil Pb-210 Excess

Sedimentation Rate in Ciujung Hulu River Floodplain Based on Pb-210 Excess Profile

Barokah Aliyanta*, Nita Suhartini

PAIR-BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya no. 49, Jakarta, Indonesia, 12440

Email: barali@batan.go.id

Naskah diterima: 19 Maret 2018, direvisi: 24 Mei 2018, disetujui: 31 Mei 2018

DOI: [10.17146/eksplorium.2018.39.1.4165](https://doi.org/10.17146/eksplorium.2018.39.1.4165)

ABSTRAK

Laju deposisi sedimen di dataran banjir merupakan salah satu komponen dalam *budget* sedimen daerah aliran sungai (DAS). Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan estimasi laju deposisi sedimen di dua lokasi dataran banjir berdasarkan penanggalan umur sedimen dengan teknik Pb-210 excess. Core sedimen diambil di dataran banjir Sungai Ciujung Hulu tiap interval kedalaman 10 cm sampai kedalaman 120 cm. Sedimen yang didapat dikeringkan, diayak, ditimbang 150–300 gr, ditempatkan dalam wadah khusus dan ditutup rapat. Setelah sebulan dalam kondisi tertutup rapat, sampel diukur dengan spektrometer gamma *Multichannel analyzer* (MCA) untuk mengetahui aktivitas Pb-210 total dan Pb-210 supported. Berdasarkan data Pb-210 total dan Pb-210 supported, terdapat tiga cara berbeda untuk mendapatkan profil Pb-210 excess. Data Pb-210 excess yang diperoleh digunakan untuk menghitung umur sedimen berdasarkan metode *constant of the rate of supply* (CRS). Melalui umur tiap perlapisan sedimen ini, dapat diketahui adanya zona peralihan laju deposisi sedimen di kedua lokasi. Laju sedimentasi berkisar 1,028 cm/tahun dari tahun 1968 s/d 1987, dan naik menjadi sekitar 2,83 cm/tahun dari tahun 1987–2016 (28,95 tahun) di lokasi 1. Di lokasi 2, laju sedimentasi berkisar 0,676 cm/tahun dari tahun 1950–1993, dan naik menjadi kisaran 3,231 cm/tahun dari kurun waktu tahun 1993–2016 (23 tahun).

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

ABSTRACT

The rate of deposition of sediment on the floodplain area is one of the constituent component of the sediment budget in watersheds. Therefore, the sedimentation rate estimation has been made in two locations of the floodplains based on the age sediment obtained using Pb-210 excess technique. Sediment cores were taken in the Ciujung Hulu River floodplain every 10 cm depth intervals up to a depth of 120 cm. Sediment was obtained then dried, disaggregated, sifted, weighing 150–300 gr, placed into the special containers and tightly closed. After a month in a sealed condition, samples were measured using gamma spectrometer Multichannel analyzer (MCA) to find out the activity of Pb-210 total and Pb-210 supported. Based on the data of Pb-210 total and Pb-210 supported, there are three different ways to get Pb-210 excess profiles. Obtained Pb-210 excess data is used to calculate the age of the sediments on the basis of the method of constant rate of supply (CRS). Through the age of sediment layers, can be recognized the existence of transitional zone of sediment deposition rate at both locations. The rate of sedimentation ranged from 1.028 cm/year from the years 1968–1987, and rose to about 2.83 cm/year from the years 1987–2016 (28.95 years) at location 1. While in location 2, the rate of sedimentation ranged 0.676 cm/year from the years 1950–1993, and rose to about 3.231 cm/year from the years 1993–2016 (2 years).

Keywords: Pb-210 excess, CRS, sediment age, rate of sedimentation

PENDAHULUAN

Sungai Ciujung merupakan sungai utama di Provinsi Banten. Sebagai sumber daya alam, sungai ini banyak dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, antara lain penyediaan air irigasi, sarana rekreasi, usaha perikanan, dan lain lain. Sungai Ciujung terbagi dalam lima (5) sub-daerah aliran sungai (DAS), dengan sub-DAS yang ada di hulu dikenal sebagai sub-DAS Ciujung Hulu. Sejak sepuluh tahun lalu mutu air Sungai Ciujung mengalami kemerosotan akibat sedimentasi, baik di aliran sungai maupun endapan sedimen di dataran banjir/teras sungai [1].

Material sedimen yang berasal dari sumber-sumber sedimen yang terbawa oleh aliran air limpasan ketika hujan terangkut di dalam aliran Sungai Ciujung Hulu dan menyebabkan terjadinya endapan *sediment bed* di dasar aliran sungai dan endapan sedimen di dataran banjir yang terbentuk karena proses inundasi dari sedimen suspensi. Sumber-sumber sedimen potensial tersebut antara lain adalah erosi lahan, penambangan pasir, serta erosi parit dari lapisan *sub-soil* dan *river bank*.

Sedimen di dataran banjir ini mengandung radionuklida Pb-210. Pb-210 merupakan radionuklida lingkungan yang berasal dari peluruhan induk ^{238}U [2]. Pb-210 mempunyai waktu paruh 22,3 tahun. Radionuklida Pb-210 terdiri dari radionuklida jatuhnya (*fallout*) yang melekat kuat pada partikel halus sedimen/tanah, disebut sebagai Pb-210 *excess/unsupported* dan Pb-210 yang bukan berasal dari jatuhnya disebut sebagai Pb-210 *supported*. Dalam sedimen, aktivitas Pb-210 dapat dibedakan antara Pb-210 *excess* dan Pb-210 *supported* melalui pengukuran dengan peralatan *multi channel analyzer* secara langsung dari radiasi gamma yang

dipancarkan menggunakan detektor *low energy* [3,4].

Ditinjau dari sumbernya, sedimen di dataran banjir ini umumnya akan banyak mengandung Pb-210 *excess* jika berasal dari tanah permukaan yang tererosi akibat aktivitas pertanian [5] atau akan mengandung sangat sedikit atau bahkan tidak mengandung sama sekali Pb-210 *excess* bila partikel halusnya dominan berasal dari *river bank*, erosi parit, atau berasal dari cucian penambangan pasir. Dengan asumsi pada tempat perlapisan sedimen di dataran banjir tidak mengalami gangguan, maka besar kecilnya aktivitas Pb-210 *excess* pada perlapisan sedimen disebabkan oleh adanya perbedaan proporsi percampuran berbagai sumber potensial tersebut serta faktor peluruhan radioaktif. Dengan asumsi demikian, teknik radionuklida Pb-210 *excess* dapat dijadikan sebagai sarana untuk melakukan berbagai kajian, seperti estimasi laju sedimentasi dataran banjir [6,7], identifikasi dan penentuan daerah sumber sedimen [8], maupun untuk mengetahui perluasan area sedimentasi dataran banjir antara aliran air yang dikendalikan dengan tidak dikendalikan [9].

Dalam rangka untuk membantu menyediakan salah satu komponen data dalam menyusun model *sediment budget* sub-DAS/DAS yang berperan dalam pengelolaan sub-DAS/DAS terintegrasi, diperlukan data estimasi laju sedimentasi di dataran banjir. Untuk itu, perlu dilakukan penanggalan umur sedimen dengan teknik penanggalan radioaktif (*dating*) Pb-210 *excess* untuk estimasi laju sedimentasi. Dua asumsi penting diperlukan untuk penanggalan umur sedimen, yaitu jatuhnya radionuklida Pb-210 *excess* di seluruh kawasan sub-DAS Ciujung Hulu, dan Pb-210 *excess* yang terukur pada tiap interval

sedimen di dataran banjir yang merupakan hasil dari pengendapan proses inundasi dari berbagai sumber potensial yang ada. Melalui pengambilan sampel dengan alat *core* pada lokasi endapan sedimen di dataran banjir dan pengukuran aktivitas Pb-210 total dan Pb-210 *supported* akan diperoleh profil aktivitas ^{210}Pb *excess* dalam keseluruhan kolom sedimen. Dengan demikian maka laju deposisi sedimen/laju sedimentasi di dataran banjir dapat diestimasi. Data estimasi laju sedimentasi dataran banjir ini akan melengkapi data lain seperti laju erosi, kontribusi sumber erosi, dan data sedimen *yield* ke dalam model konstruksi sedimen budget sub-DAS Ciujung Hulu.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel endapan sedimen dataran banjir/teras sungai terletak di daerah aliran Sungai Ciujung Hulu seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Pengambilan sampel endapan sedimen dilakukan dengan alat *core* sedimen berdiameter dalam 7 cm dan dilengkapi dengan tangkai sepanjang 130 cm. Sedimen diambil secara bertahap 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 120 cm.



Gambar 1. Pengambilan sampel sedimen di dataran banjir (sumber: *googlemaps*).

Preparasi Sampel dan Pengukuran Dengan *Multi Channel Analyzer* (MCA)

Sampel sedimen yang telah diambil tiap interval kedalaman 10 cm ini dipreparasi di laboratorium dengan diangin-anginkan

selama 48 jam. Sampel dipanaskan dengan oven pada suhu 60°C selama 2 hari. Sampel yang telah kering tersebut digerus untuk memisahkan butirannya, diayak dengan ayakan bermesh 1 mm, ditimbang antara

150–300 gr (tergantung perolehan sampelnya) dan ditempatkan di tabung merrineli, lalu 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) [10]. Masing-masing sampel diukur aktivitas Pb-210 excess melalui pengukuran aktivitas gamma pada energi sekitar 46,5 KeV sebagai representasi Pb-210 total dan pada energi 351 KeV (Bi-214) [11] sebagai representasi Pb-210 supported menggunakan alat spektrometer gamma MCA dengan relatif efisiensi 30% dalam laboratorium cacah latar rendah milik Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-Badan Tenaga Nuklir Nasional (PAIR-BATAN).

Pengukuran Kandungan Organik Karbon

Setelah selesai dilakukan pengukuran dengan MCA, sampel dibuka dan diambil sekitar 10 gram kemudian dipanaskan dengan oven sampai suhu 110°C. Selanjutnya, sampel didinginkan dan ditimbang kembali. Sampel yang telah ditimbang kembali tersebut kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 450°C selama 3 jam, didinginkan, dan ditimbang kembali. Selisih dari berat timbangan setelah dipanaskan dalam *furnace* merupakan Total Organik Material (TOM) yang terbakar/hilang. Pengukuran TOM dilakukan pada setiap interval kedalaman untuk menormalisasi aktivitas Pb-210 excess terhadap kandungan organik karbonnya. Persentase Total Organik Karbon (TOC) dihitung dengan asumsi sama dengan 0,47 TOM [12].

Analisis Data

Data profil dari Pb-210 excess tiap kolom sedimen di dataran banjir diperoleh dengan

tiga cara berbeda untuk mengestimasi umur lapisan sedimennya dengan model *constant rate of supply* (CRS). Cara pertama adalah profil Pb-210 excess diperoleh dengan mengurangi aktivitas Pb-210 total dengan Pb-210 supported pada masing-masing interval kedalaman. Cara kedua adalah profil Pb-210 excess diperoleh dengan mengurangi aktivitas Pb-210 total tiap interval kedalaman dengan Pb-210 supported rata-rata seluruh kolom sedimen. Cara ketiga adalah mengacu pada hasil penelitian terdahulu, bahwa Pb-210 excess dan soil organik karbon (SOC) bergerak bersama selama proses erosi lahan [13,14], maka profil Pb-210 excess diperoleh dengan mengurangi aktivitas Pb-210 total tiap interval kedalaman dengan Pb-210 supported yang dinormalisasi terhadap kandungan rata-rata persentase organik karbon. Dari profil tersebut diestimasi umur tiap lapisan sedimen dengan model CRS [15]. Perhitungan umur sedimen dengan model CRS didasarkan pada peluruhan radioaktif berikut:

$$\begin{aligned}Az &= A(0)e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{Az}{A(0)} = e^{-\lambda t} \\ \rightarrow \ln\left(\frac{Az}{A(0)}\right) &= -\lambda t \rightarrow \ln\left(\frac{A(0)}{Az}\right) = \lambda t \\ \text{Atau} \rightarrow t &= \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A(0)}{Az} \quad (1)\end{aligned}$$

dengan $A(0)$ adalah total inventori Pb-210 excess (Bq/m^2) dari lapisan sedimen paling atas sampai paling bawah (keseluruhan kolom sedimen); Az adalah inventori Pb-210 excess di bawah kedalaman z ; λ adalah tetapan peluruhan Pb-210.

Laju deposisi sedimen atau laju sedimentasi pada tiap satuan waktu dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan regresi antara kedalaman sedimen dengan umur sebagai berikut:

$$R = m t + A \quad (2)$$

dengan R adalah kedalaman sedimen (cm); m adalah laju deposisi sedimen *bulk* (cm/tahun)

atau laju sedimentasi; t adalah umur sedimen (tahun); dan A adalah konstanta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Radionuklida dan TOM

Hasil pengukuran aktivitas Pb-210 *excess* melalui Pb-210 total dan Pb-210 *supported* serta TOM dari keseluruhan interval kedalaman sedimen di lokasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, sedangkan profil Pb-210 total dan Pb-210 *supported* terhadap kedalaman dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Pada lokasi 1 nampak bahwa aktivitas Pb-210 total sangat fluktuatif, mempunyai aktivitas berkisar dari 22–76 Bq/kg dengan aktivitas tertinggi, yaitu 76,8 Bq/kg berada di lapisan sedimen paling atas dan aktivitas terendah, yaitu 22,47 Bq/kg berada pada lapisan interval kedalaman 40–50 cm (Tabel 1 dan Gambar 2). Aktivitas Pb-210 *supported* juga bervariasi dengan kisaran 10–33 Bq/kg dengan aktivitas Pb-210 *supported* tertinggi adalah 33,27 Bq/kg yang berada pada lapisan 90–100 cm dan aktivitas terendah adalah 10,26 Bq/kg yang berada pada lapisan interval kedalaman 100–110 cm (Tabel 1). Kandungan total organik material (TOM) juga bervariasi dari kisaran 6–17 %,

dengan nilai terendah adalah 6,45 % pada interval kedalaman 110–120 dan tertinggi adalah 17,12% pada interval kedalaman 0–10 cm (Tabel 1). Hubungan yang signifikan antara aktivitas Pb-210 total dengan TOM (dengan koefisien determinasi $r^2 = 0,11$) tidak ditemukan dengan menggunakan regresi linear biasa. Secara umum, aktivitas Pb-210 total dan kandungan TOM tidak ada saling ketergantungan. Hal demikian tentunya dapat dimengerti mengingat bahwa sedimen yang terdeposisi di dataran banjir tersebut memang mempunyai sumber potensial yang cukup beragam dengan kandungan organik material yang bervariasi. Demikian juga dengan aktivitas Pb-210 total yang merupakan gabungan dari komponen sumber potensial yang ada.

Bila sedimen di dataran banjir didominasi oleh erosi lembaran dari lahan, baik kualitas maupun kuantitasnya maka kemungkinan aktivitas Pb-210 totalnya juga akan tinggi. Sebaliknya, bila sumber utama dari sedimen didominasi oleh sedimen dari lapisan *sub-soil* atau erosi *river bank* maka aktivitas Pb-210 total juga relatif kecil, dan seterusnya. Begitu juga halnya terhadap kandungan TOM.

Tabel 1. Hasil pengukuran aktivitas Pb-210 dan parameter lain di lokasi 1.

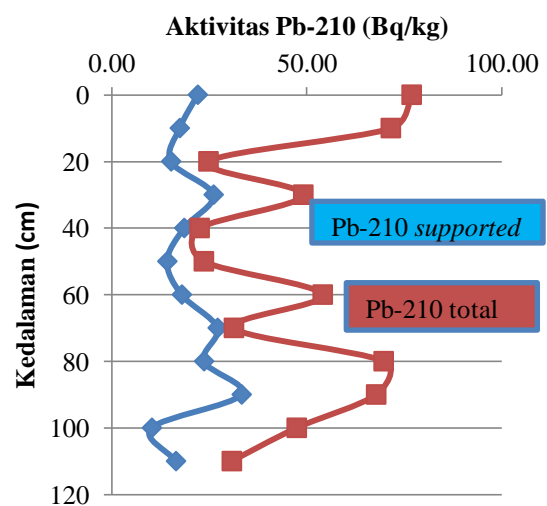
Kedalaman (cm)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-210 supported (Bq/kg)	DW (kg)	TOM (%)	TOC (%)
0–10)	76,83	22,02	0,34	17,12	8,05
(10–20	71,49	17,40	0,38	12,72	5,98
20–30	24,75	15,19	0,42	9,93	4,67
30–40	49,06	26,08	0,27	12,83	6,03
40–50	22,47	18,54	0,194	14,21	6,68
50–60	23,57	14,21	0,224	16,68	7,84
60–70	54,03	17,94	0,323	13,19	6,20
70–80	31,28	27,11	0,215	15,17	7,13
80–90	69,65	23,63	0,256	16,01	7,52
90–100	67,73	33,27	0,191	13,84	6,50
100–110	47,37	10,26	0,421	11,66	5,48
110–120	30,74	16,43	0,541	6,45	3,03

Tabel 2. Hasil pengukuran aktivitas Pb-210 dan parameter lain di lokasi 2.

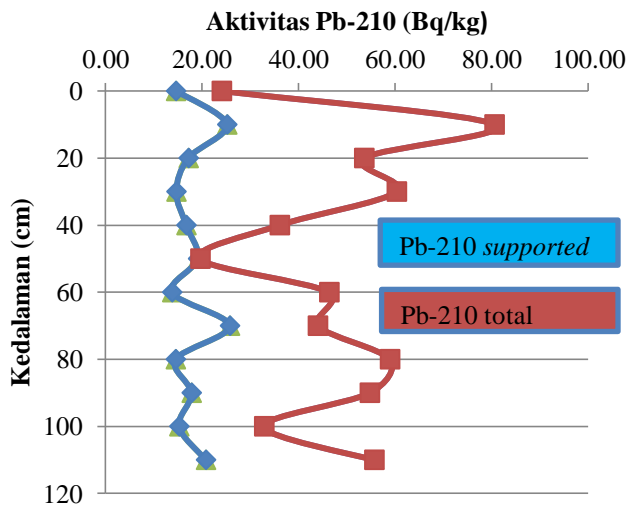
Kedalaman (cm)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-210 supported (Bq/kg)	DW (kg)	TOM (%)	TOC (%)
0-10	24,07	14,59	0,287	19,42	9,13
10-20	80,55	25,19	0,302	16,71	7,85
20-30	53,57	17,20	0,372	15,76	7,41
30-40	60,31	14,67	0,441	15,72	7,39
40-50	36,08	16,74	0,398	15,15	7,12
50-60	19,64	19,15	0,353	15,23	7,16
60-70	46,33	13,79	0,449	16,08	7,56
70-80	43,97	25,76	0,344	15,53	7,30
80-90	58,91	14,54	0,550	14,55	6,84
90-100	54,73	17,83	0,556	17,33	8,15
100-110	32,85	15,26	0,734	16,00	7,52
110-120	55,66	20,79	0,575	16,11	7,57

Aktivitas Pb-210 total di lokasi 2 juga berfluktuasi dan mempunyai aktivitas berkisar antara 19–80 Bq/kg dengan aktivitas tertinggi, yaitu 80,55 Bq/kg berada di lapisan interval kedalaman 10–20 cm dan aktivitas terendah, yaitu 19,64 Bq/kg berada pada lapisan interval kedalaman 50–60 cm (Tabel 2 dan Gambar 3). Ternyata antara kolom sedimen di lokasi 1 dan 2 juga mempunyai perbedaan profil Pb-210 total. Aktivitas Pb-210 supported juga bervariasi dengan kisaran 13–25 Bq/kg dengan aktivitas Pb-210 supported tertinggi adalah 25,76 Bq/kg berada pada lapisan 70–80 cm dan aktivitas terendah adalah 13,79 Bq/kg berada pada lapisan interval kedalaman 60–70 cm (Tabel 2).

Sedimen di lokasi 2 pun tidak memiliki hubungan yang signifikan antara Pb-210 total dengan kandungan TOM ($r^2 = 0,02$). Hal ini juga disebabkan oleh proses kejadian yang sama pada lokasi 1, yaitu banyaknya kemungkinan kombinasi proporsionalitas sumber potensial penyusun sedimen.



Gambar 2. Profil Pb-210 total dan Pb-210 supported terhadap kedalaman di lokasi 1.



Gambar 3. Profil Pb-210 total dan Pb-210 supported terhadap kedalaman di lokasi 2.

Aktivitas Pb-210 excess dan Estimasi Umur Sedimen

Profil Pb-210 excess diperoleh dengan tiga cara berbeda, yaitu aktivitas Pb-210 total dikurangi dengan Pb-210 supported pada masing-masing interval kedalaman; aktivitas Pb-210 total dikurangi dengan Pb-210 supported rata-rata seluruh kolom sedimen; dan aktivitas Pb-210 total dikurangi dengan Pb-210 supported tiap interval kedalaman yang dinormalisasi terhadap rata-rata persentase organik karbon (%C). Hasil ketiga cara ini dapat dilihat pada Tabel 3 pada kolom 2, 3, dan 4 sedangkan perhitungan estimasi umurnya dapat dilihat pada Tabel yang sama pada kolom 5, 6, dan 7. Secara umum, ada kecenderungan yang serupa dari kurva antara kedalaman sedimen dan estimasi umur sedimen seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Pb-210 excess di Lokasi 1 dan Umur Sedimen

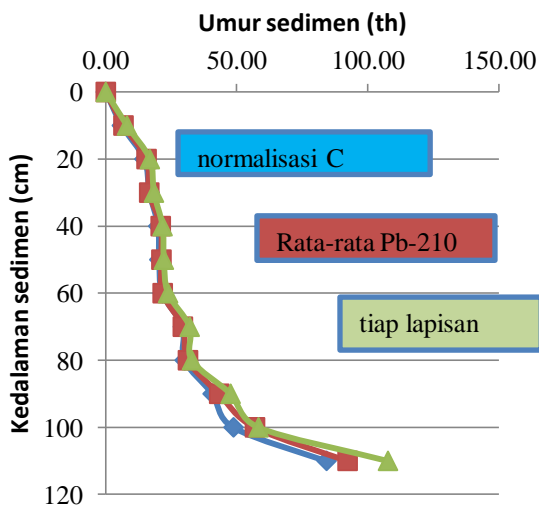
Pb-210 excess pada kolom sedimen dataran banjir di lokasi 1 seperti dapat dilihat pada Tabel 3 mempunyai nilai positif semua.

Aktivitas Pb-210 excess merupakan deposisi dari sedimen suspensi dan merupakan percampuran berbagai sumber sedimen potensial seperti lahan tererosi yang berupa erosi lembaran, dari hasil cucian pasir maupun dari erosi parit/lapisan *sub-soil* dan erosi *river bank*. Nilai positif Pb-210 excess dari sedimen di dataran banjir tersebut menunjukkan bahwa sedimen yang berasal dari erosi lembaran mendominasi sumber sedimen potensial. Semakin tinggi aktivitas Pb-210 excess mengindikasikan semakin tingginya kontribusi dari erosi lembaran lahan pertanian dan begitu pula sebaliknya. Profil aktivitas Pb-210 excess di lokasi 1 berfluktuasi terhadap kedalaman. Aktivitas Pb-210 excess tertinggi terlihat pada lapisan permukaan dengan aktivitas 54,80 Bq/kg dan aktivitas terendah ada pada lapisan interval kedalaman 40–50 cm dengan aktivitas 3,93 Bq/kg. Idealnya, aktivitas tertinggi berada pada lapisan sedimen paling atas dan apabila jumlah sumber sedimen dan faktor luar yang mempengaruhi relatif sama, aktivitas Pb-210 excess akan semakin kecil ke arah semakin ke dalam secara eksponensial [4]. Fluktuasi aktivitas Pb-210 excess yang diperoleh dengan cara kesatu tersebut juga sama dengan profil Pb-210 excess yang diperoleh dengan cara kedua maupun cara ketiga.

Dengan cara kedua, aktivitas Pb-210 excess tertinggi berada lapisan permukaan, yaitu 56,66 Bq/kg dan aktivitas terendah berada pada interval kedalaman 40–50 cm, yaitu 2,30 Bq/kg. Demikian juga dengan cara ketiga, diperoleh aktivitas Pb-210 excess tertinggi berada lapisan permukaan, yaitu 70,46 Bq/kg dan aktivitas terendah berada pada interval kedalaman 40–50 cm, yaitu 4,20 Bq/kg.

Tabel 3. Hasil estimasi umur lapisan sedimen lokasi 1.

Pb-210 excess (Bq/kg)			Umur Tiap Perlapisan Sedimen (th)		
Cara-1	Cara-2	Cara-3	Cara-1	Cara-2	Cara-3
54,80	56,66	70,45	0,00	0,00	0,00
54,08	51,32	51,66	6,12	6,74	8,07
9,56	4,58	7,13	14,72	15,54	16,78
22,97	28,89	22,13	16,71	16,55	18,35
3,93	2,30	4,20	19,97	20,93	21,65
9,36	3,40	11,72	20,40	21,21	22,13
36,09	33,86	35,74	21,62	21,68	23,74
4,17	11,11	4,75	29,38	29,37	31,98
46,02	46,02	55,32	30,07	31,33	32,83
34,46	47,56	35,81	40,72	43,23	47,59
37,11	27,20	32,49	48,69	56,87	58,22
14,31	10,57	6,93	84,16	92,17	107,56



Gambar 4. Umur sedimen tiap kedalaman di lokasi 1.

Perhitungan estimasi umur tiap perlapisan sedimen memerlukan aktivitas Pb-210 excess dari keseluruhan kolom sedimen yang diperoleh dengan menggunakan model CRS yang ditulis dalam persamaan (1). Hasil perhitungan estimasi umur sedimen lokasi 1 dapat dilihat pada Tabel 3 pada kolom 4, 5, dan 6. Berdasarkan persamaan (1), sedimen paling atas/permukaan (kedalaman 0 cm) berumur 0 tahun, yaitu umur sampel sedimen diambil (tahun 2016 bulan Agustus). Umur sedimen yang dihitung melalui interval kedalaman merupakan umur sedimen pada kedalaman dengan batas interval atas, misal

pada interval kedalaman sedimen 10–20 cm berarti umur sedimen yang terukur pada kedalaman 10 cm dan seterusnya. Hasil perhitungan estimasi umur sedimen dengan ketiga cara penentuan Pb-210 excess juga dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk memudahkan dalam analisis pada Gambar 4, hasil estimasi umur sedimen dari profil Pb-210 excess melalui pengurangan aktivitas Pb-210 total dikurangi dengan Pb-210 supported pada masing-masing interval kedalaman yang dinotasikan dengan tiap lapisan; aktivitas Pb-210 total dikurangi dengan Pb-210 supported rata-rata seluruh kolom sedimen dinotasikan dengan rata-rata Pb-210; dan aktivitas Pb-210 total dikurangi dengan Pb-210 supported tiap interval kedalaman yang dinormalisasi terhadap rata-rata persentase organik karbon (%C) dinotasikan dengan normalisasi C. Melalui ketiga cara di atas, umur sedimen yang diperoleh tidak berbeda signifikan, khususnya pada kedalaman kurang dari 90 cm. Secara umum hasil perhitungan umur yang lebih mendekati adalah melalui perolehan Pb-210 excess dari pengurangan langsung Pb-210 total dengan Pb-210 supported tiap lapisan sedimen. Profil Pb-210 excess diperoleh dari pengurangan aktivitas Pb-210 total tiap interval kedalaman terhadap

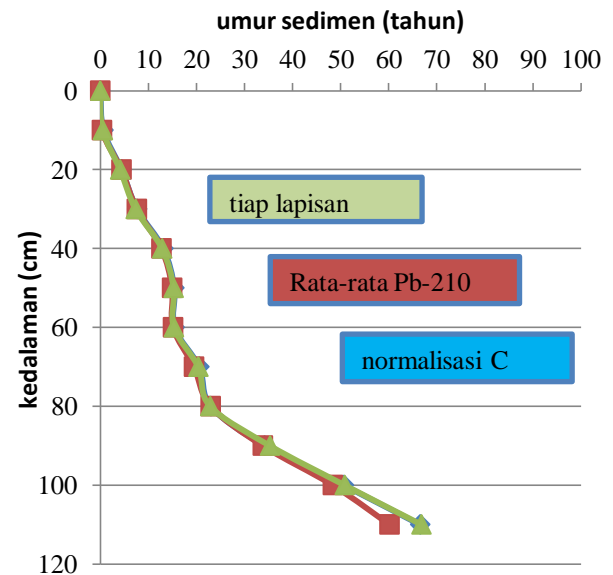
Pb-210 *supported* yang dinormalisasi terhadap kandungan rata-rata persentase organik karbon.

Pb-210 *excess* di Lokasi 2 dan Umur Sedimen

Aktivitas Pb-210 *excess* kolom sedimen dataran banjir di lokasi 2 seperti dapat dilihat pada Tabel 4 kolom 2, 3, dan 4 mempunyai nilai positif semua. Proses kejadian pengendapan sedimen di lokasi 2 serupa dengan di lokasi 1 meskipun lokasi 2 berada lebih ke arah hilir dibandingkan lokasi 1. Secara profil, aktivitas Pb-210 *excess* di lokasi 2 berfluktuasi terhadap kedalaman. Aktivitas Pb-210 *excess* tertinggi terlihat pada lapisan dengan interval kedalaman 10–20 cm, yaitu 55,36 Bq/kg dan aktivitas terendah ada pada lapisan interval kedalaman 50–60 cm dengan aktivitas 0,49 Bq/kg. Fluktuasi aktivitas Pb-210 *excess* yang diperoleh dengan cara pertama juga serupa dengan profil aktivitas Pb-210 *excess* yang diperoleh dengan cara kedua maupun cara ketiga. Aktivitas terbesar dan terkecil tetap berada di lapisan interval kedalaman yang sama. Dengan cara kedua, aktivitas Pb-210 *excess* tertinggi berada di lapisan kedalaman 10–20 cm, yaitu 62,59 Bq/kg dan aktivitas terendah berada pada interval kedalaman 50–60 cm, yaitu 1,68 Bq/kg. Demikian juga dengan cara ketiga, diperoleh aktivitas Pb-210 *excess* tertinggi berada di lapisan kedalaman 10–20 cm, yaitu 57,34 Bq/kg dan aktivitas terendah berada pada interval kedalaman 50–60 cm, yaitu 0,46 Bq/kg.

Dengan cara yang sama pada lokasi 1, hasil perhitungan estimasi umur sedimen lokasi 2 dapat dilihat pada Tabel 4 pada kolom 4, 5, dan 6. 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 terukur pada kedalaman 0 cm dan seterusnya. Grafik hubungan antar kedalaman dan umur sedimen dari ketiga cara penentuan Pb-210 *excess* juga dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Umur sedimen tiap kedalaman di lokasi 2.

Estimasi umur yang diperoleh dari cara pertama (tiap perlapisan) dengan cara ketiga (normalisasi C) sangat mendekati, bahkan pada lokasi 2 sampai pada lapisan sedimen terbawah (Tabel 4 dan Gambar 5). Pada lokasi 2, estimasi umur hanya berbeda signifikan pada kedalaman 110 cm dengan cara kedua, yaitu rata-rata Pb-210. Berdasarkan pada Tabel 3, Tabel 4, Gambar 4, dan Gambar 5 dapat dikatakan bahwa perhitungan estimasi umur sedimen dengan menggunakan cara pertama atau tiap lapisan dengan cara ketiga, yaitu normalisasi C memberikan hasil yang relatif sama. Hasil umur sedimen dari dataran banjir di lokasi 2 dengan ketiga cara tersebut memberikan hasil yang lebih mendekati dibandingkan dengan lokasi 1 meskipun pada kedalaman paling bawah memberikan hasil estimasi yang juga berbeda cukup signifikan.

Tabel 4. Hasil estimasi umur lapisan sedimen lokasi 2.

Pb-210 excess (Bq/kg)			Umur Tiap Perlapisan Sedimen (th)		
Cara-1	Cara-2	Cara-3	Cara-1	Cara-2	Cara-3
9,48	6,11	11,41	0,00	0,00	0,00
55,36	62,59	57,34	0,55	0,35	0,67
36,37	35,61	35,53	4,14	4,42	4,45
45,64	42,35	44,47	7,38	7,61	7,67
19,34	18,12	18,16	12,89	12,73	13,14
0,49	1,68	0,46	15,27	14,95	15,41
32,54	28,37	32,43	15,33	15,14	15,47
18,21	26,01	17,53	20,42	19,51	20,62
46,02	40,95	41,51	22,88	22,97	23,02
36,9	36,77	39,64	35,32	33,82	34,19
17,59	14,89	17,45	50,86	48,40	50,68
34,87	37,70	34,82	66,82	60,18	66,56

Laju Sedimentasi di Lokasi 1 dan 2

Laju sedimentasi di dataran banjir dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dari titik-titik yang berkorelasi signifikan berdasarkan dari data Tabel 3 untuk lokasi 1 dan data Tabel 4 untuk lokasi 2. Secara umum terlihat dari Gambar 4 dan Gambar 5 adanya kecenderungan kenaikan laju sedimentasi yang ditunjukkan oleh perubahan kemiringan *slope* antara kedalaman dan umur sedimen. Gambar 4 dan Gambar 5 digunakan untuk mempermudah melihat adanya kecenderungan perubahan laju sedimentasi melalui gradien garis penghubung antara umur dan kedalaman sedimen. Jumlah titik data yang digunakan untuk perhitungan laju sedimentasi adalah data yang diperoleh dari profil Pb-210 excess dari cara pertama, dimana estimasi umur sedimen diperoleh melalui profil Pb-210 excess dari pengukuran langsung. Dari kriteria tersebut, diambil titik data kedalaman 0–80 cm dan dari 80–100 cm untuk lokasi 1. Laju sedimentasi dataran banjir di lokasi 1 yang terletak di kampung Kedung Agung, Kecamatan Kalanganyar berkisar 2,83 cm/tahun dengan koefisien determinasi $r^2 = 0,914$ dan berasal dari kedalaman sedimen 0–80 cm atau yang diestimasi terjadi dari tahun 1987–2016

(28,95 tahun). Laju sedimentasi dari sedimen di kedalaman 80–100 cm berkisar 1,028 cm/tahun dengan koefisien determinasi $r^2 = 0,986$ atau yang diestimasi terjadi dari tahun 1968–1987 (19 tahun). Sejak tahun 1987 sampai sekarang rata-rata laju sedimentasinya lebih dari 2,5 kali dibandingkan periode sebelum tahun 1987. Dengan cara yang sama, untuk lokasi 2 yang terletak di kampung Cilangkap, Kecamatan Kalanganyar, diperoleh pendekatan perubahan laju sedimentasi dari kedalaman 0–80 cm berkisar 3,231 cm/tahun dengan koefisien determinasi $r^2 = 0,978$, atau diestimasi terjadi dari kurun waktu tahun 1993–2016 (23 tahun). Laju sedimentasi dari kedalaman 80–110 berkisar 0,676 cm/tahun dengan koefisien determinasi $r^2 = 0,997$, atau yang diestimasi terjadi dari kurun waktu tahun 1950–1993. Kedua lokasi sedimen dataran banjir ini memberikan informasi yang sangat jelas bahwa telah terjadi kenaikan laju sedimentasi yang signifikan sejak tahun 1987.

KESIMPULAN

Sampel sedimen di dataran banjir berasal dari pengendapan sedimen suspensi yang berasal dari berbagai sumber potensial. Sedimentasi di dataran banjir senantiasa

berulang dari tahun ke tahun. Karakteristik Pb-210 *excess* lapisan sedimennya dipengaruhi oleh sumber sedimen potensial yang berasal dari erosi lembaran dari lahan, erosi parit dari lapisan *sub-soil*, aktivitas pencucian galian pasir, maupun erosi *river bank*. Kombinasi berbagai sumber potensial tersebut yang akan mewarnai profil aktivitas Pb-210 *excess*, dimana sedimen yang mengandung Pb-210 *excess* tinggi berasal dari lahan pertanian sedangkan sumber lainnya boleh jadi hanya sedikit atau bahkan tidak ada Pb-210 *excess*. Dari ketiga cara mendapatkan profil Pb-210 *excess*, cara pertama (tiap per lapisan) dan cara ketiga (normalisasi C) memberikan hasil yang hampir sama, terutama untuk sedimen dataran banjir lokasi 2. Data ini sebagai salah satu bukti bahwa baik Pb-210 *excess* maupun *soil* organik karbon terikat bersama-sama cukup kuat pada partikel halus sedimen. Ada kecenderungan kenaikan laju sedimentasi yang signifikan; di lokasi 1 laju sedimentasi berkisar 1,028 cm/tahun dari tahun 1968–1987 naik menjadi sekitar 2,83 cm/tahun dari tahun 1987–2016 (28,95 tahun). Demikian juga kenaikan laju sedimentasi di lokasi 2 yang lebih ke arah hilir letaknya, dari kisaran 0,676 cm/tahun dari kurun waktu tahun 1950–1993 menjadi kisaran 3,231 cm/tahun dari kurun waktu tahun 1993–2016 (23 tahun).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh staf terkait di kelompok Sedimentologi-PAIR, diantaranya Bapak Darman dan Bapak Marwadi yang telah membantu dalam pengambilan sampel dan preparasi serta penyiapan peralatan lapangan lain. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada para *reviewer* dengan

segala koreksi dan masukannya sehingga karya tulis ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPDAS, *Pengelolaan DAS Ciujung Terpadu Tahun 2010*. BP DAS Ciliwung-Citarum 2010.
- [2] S. Mares and M. Tvrdý, *Introduction to Applied Geophysics*. Prague : Charles Univ., D. Radel Publishing Company, 1984.
- [3] B. Aliyanta, N. Suhartini, dan B. Pratikno, "*Studi Awal Penentuan Sumber Sedimen DAS Cisadane Hulu dengan Radionuklida Alam*", *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 11, 39-49, 2015.
- [4] V. Putyrskaya, E. Klemt, S. Rollin, M. Astner, and H. Sahli, "*Dating of Sediment from Four Swiss Prealpine Lakes with Pb-210 Determined by Gamma-Spectrometry*", *Journal of Environmental Radioactivity*, 145, 78-94, 2015.
- [5] B. Aliyanta, N. Suhartini, dan T. Hutabarat, "*Laporan Teknis Litbang 2015*", Jakarta Selatan : PAIR-BATAN, 2015.
- [6] V. Golosov and D. E. Walling, "*Using Fallout Radionuclides To Investigate Recent Overbank Sedimentation Rates On River Floodplain: An Overview*", New Orleans, Louisiana : IAHS Publ. 367, 2015.
- [7] P. Du and D.E. Walling, "*Using Pb-210 Measurements to Estimate Sedimentation Rates on River Floodplains.*", *Journal of Environment Radioactivity*, 103, 59-75., 2012.
- [8] G. Matisoff, "*Pb-210 as a Tracer of Soil Erosion, Sediment Source Area Identification and Particle Transport in the Terrestrial Environment*", *Journal of Environmental Radioactivity*, 138 , 343-354, 2014.
- [9] C. E. Renshaw, K. Abengoza, F. J. Magilligan, W. B. Dade, and J. D. Landis, "*Impact of Flow Regulation on Near-Channel Flooplain Sedimentation*", *Geomorphology*, 205, 120-127, 2014.
- [10] L. Mabit, M. Benmansour, and D. E. Walling, "*Comparative Advantages and Limitations of Fallout Radionuclides Cs-137, Pb-210, and Be-7 to Assess Soil Erosion and Sedimentation*", *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 1799-1807, 2008..
- [11] Y. H. Yang, B. X. Yan, and H. Zhu, "*Estimating Soil Erosion in Northeast China Using Cs-137 and Pb-210 ex.*", *Pedosphere*, 21-6, 706-711, 2011.

- [12] M. Gibbs, "*Protocol on the Use of the CSSI Technique to Identify and Apportion Soil Sources from Land Use*", Prepared for Joint FAO/IAEA Division Technique in Food and Agriculture, NIWA, Taihori Nukuragi, New Zealand, Revised 2013.
- [13] T. T. Mengistu, Y. Onda, H. Kato, Y. Wakiyama, S. Mizugaki, and S. Hiramatsu, "*The Relationship of Soil Organic Carbon to Pb-210 excess dan Cs-137 during Surface Soil Erosion in a Hillslope Forested Environment*", *Geoderma*, 192 , 59-67, 2013.
- [14] B. Aliyanta, "*Kajian Komparatif Parameter Kualitas Tanah di Beberapa Tataguna Lahan sub-DAS Cisadane Hulu dengan Pb-210 excess dan Cs-137*", *Jurnal Ilmiah APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI*, 11, 113-124, 2015.
- [15] M. Strok, B. Modis, B. Petrinec, and Z. Franic, "*Correcting for Potential Rn-222 Loss in Pb-210 Dating of Sediments from the South Adriatic Pit*", *Quaternary Geochronology*, 18, 93-98, 2013.