

Estimasi Laju Deposisi Sedimen di Muara Gembong Sungai Citarum

Estimation of The Rate of Sediment Deposition in Estuary of Gembong Citarum River

Barokah Aliyanta¹, Annisa Khairina², Anggita Kartikasari² dan Ali Arman Lubis¹

¹ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49 Jakarta 12440

² Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang, 1269
E-mail : barali@batan.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan perhitungan estimasi laju deposisi sedimen melalui teknik analisis Pb-210 menggunakan alat spektrometer alpha di muara Gembong sungai Citarum. Muara Gembong sungai Citarum mengalami pendangkalan yang mengganggu aliran sungai ke laut. Pendangkalan yang terjadi diduga karena rusaknya daerah hulu sungai. Dengan mengetahui profil Pb-210 *excess* pada sampel sedimen muara dapat diestimasi laju deposisi sedimen. Sampel sedimen muara diambil di dua lokasi, masing-masing satu di sebelah kanan dan kiri muara dengan menggunakan paralon berdiameter dalam 3,7 cm dengan metode gravitasi. Sedimen yang diperoleh diperlakukan sebagai sedimen *undisturbed* yang disimpan dan dibekukan dengan es campur garam di lapangan, yang selanjutnya disimpan dalam freezer di laboratorium. Sedimen yang telah beku dipotong-potong dalam interval yang diinginkan dan dimulai dari sedimen paling dalam. Sedimen yang telah dipotong dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 72 jam, dilakukan perlakuan kimia, dideposisikan dalam plat tembaga murni, dan diukur aktivitas Pb-210 dengan alat spektrometer alpha. Penanggalan umur sedimen dilakukan dengan metode *constant of the rate of supply* (CRS). Melalui penanggalan umur ini, lebih lanjut diketahui laju deposisi sedimen tiap kurun waktu di kedua lokasi. Laju deposisi rata-rata bulk sedimen cenderung semakin tinggi dari tahun ke tahun, yaitu sebelum tahun 1976 berkisar 0,58 cm/th dan 0,14 cm/th; antara tahun 1976 s/d 1998 berkisar 0,82 cm/th dan 0,89 cm/tahun; antara 1999 s/d 2016 berkisar 1,28 cm/tahun dan 1,28 cm/tahun, masing-masing untuk lokasi I dan lokasi II.

Kata kunci : laju deposisi, Pb-210, penanggalan umur, sedimen, alpha spektrometer

ABSTRACT

Calculation of estimation of sediment deposition rate has been done through Pb-210 analysis technique using alpha spectrometer from Gembong estuary sediment of the river of Citarum. Gembong estuary sediment of the river of Citarum are experiencing the superficiality that interferes with the flow of the river to the sea. The superficiality which occurred allegedly because of defective areas upstream of the river. By knowing the Pb-210 excess profiles in sediment of the estuary, then the rate of sediment deposition can be estimated. Sediment samples were taken from two locations, each one on the right and left side of estuary using pvc tube with 3.7 cm inner diameter by using gravity method. The obtained sediments were treated as undisturbed sediments and stored and frozen with salt-ice in the field, and subsequently stored in the freezer in the laboratory. The frozen sediments are cut into the desired intervals and starting from the deepest sediments. The sliced frozen sediments were dried in the oven at 60°C for 72 hours, chemically treated, deposited in pure copper plates, and Pb-210 activity was measured using alpha spectrometer. Sediment age dating is done using constant of the rate of supply (CRS) method. Through this agedating, sediment deposition rate for each time period in both locations are known. The average deposition rate of sediment bulk tend to rise from year to year, i.e. before 1976 ranged from 0.58 cm/year and 0.14 cm/year; between 1976 to 1998 ranged from 0.82 cm/year and 0.89 cm/year; between 1999 to 2016 ranged from 1.28 cm/year and 1.28 cm/year, respectively for location I and location II.

Keywords : Deposition rate, Pb-210, age dating, sediment, alpha spectrometry

PENDAHULUAN

Muara merupakan wilayah badan air tempat masuknya satu atau lebih sungai ke laut, danau, bendungan, atau bahkan sungai lain yang lebih besar [1]. Muara Gembong merupakan tempat berakhirnya aliran sungai Citarum di kecamatan Gembong, kabupaten Bekasi. Muara Gembong terletak di perairan teluk Jakarta. Dari kondisi tersebut jelas, bahwa muara Gembong merupakan daerah aliran sungai yang dinamis karena terkait dengan daerah pertemuan antara sungai Citarum dan laut pesisir teluk Jakarta. Muara sungai juga memiliki fungsi langsung sebagai lokasi pengeluaran atau pembuangan debit sungai terutama pada saat terjadi banjir menuju ke laut. Sedimentasi sebagai suatu proses terangkutnya sedimen oleh aliran sungai dan diendapkan pada suatu tempat dimana kecepatan air di tempat tersebut melambat atau terhenti. Distribusi endapan sedimen di muara sungai dipengaruhi oleh hidrodinamika sekitar, yaitu gelombang laut, arus pasang surut dan debit aliran sungai [2]. Proses sedimentasi/deposisi di muara dapat menimbulkan pendangkalan dan penurunan kualitas air dan mengganggu kelancaran aliran sungai ke laut. Sebagian besar dari partikel sedimen aliran sungai mengalir menuju ke laut, dan sebagian kecil akan diendapkan di sekitar muara sungai. Jumlah sedimen yang diendapkan dalam daerah muara sungai sering dihitung dalam bentuk laju sedimentasi/deposisi, dimana sedimentasi yang terbentuk di daerah muara sebagai hasil interaksi dari dinamika arus, pasang surut, kecepatan aliran sungai maupun karakteristik sedimen suspensi aliran sungai. Laju/besarnya sedimentasi di muara sungai juga sangat terkait dengan berbagai aktivitas manusia di daerah tangkapan air, sehingga laju sedimentasi di daerah muara sungai juga terkait dengan kondisi kerusakan lahan di dalam kawasan daerah aliran sungainya. Muara Sungai Citarum memiliki sedimentasi yang cukup tinggi karena aliran Sungai Citarum banyak mengandung material suspensi dari partikel tanah di daerah hulu aliran sungai yang telah rusak akibat ulah manusia dan berbagai debu serta kotoran sampah yang dibawa aliran air sungai, yang berasal dari daerah Jawa Barat dan Jakarta.

Pb-210 merupakan radionuklida lingkungan yang berasal dari anak luruh deret panjang Uranium-238 yang ada dalam kerak bumi. Radionuklida lingkungan Pb-210 merupakan

radionuklida terrestrial, yang terdapat di dalam bebatuan dengan konsentrasi bervariasi. Isotop ini ada dalam kerak bumi dengan kelimpahan 99,274%, sedangkan isotop lainnya yaitu Uranium-235 dan U-234 berturut-turut dengan kelimpahan 0,72% dan 0,06% [3]. Radionuklida alamiah Pb-210 mempunyai sifat mudah teradsorpsi oleh partikel-partikel halus penyusun sedimen sehingga Pb-210 banyak digunakan secara luas sebagai perunut lingkungan untuk mempelajari sedimen di daerah *fluvial*, *marine*, maupun sedimen danau. Dalam kurun sepuluh tahun belakangan ini, Pb-210 banyak digunakan sebagai sarana mengestimasi umur sedimen di sedimen laut [4], geokronologi kejadian banjir [5], estimasi laju sedimentasi di daratan banjir [6 - 8]. Di dalam lingkungan, Pb-210 dapat dibedakan antara Pb-210 *excess* dan Pb-210 *supported*. Aktivitas Pb-210 dapat diukur secara langsung dari radiasi gamma yang di pancarkan [9] ataupun melalui profil aktivitas Pb-210 total dari radiasi alpha [10].

Air dan sedimen tersuspensi yang terbawa oleh aliran air sungai Citarum ini dapat mengandung ^{210}Pb yang berasal dari tanah tererosi di daerah tangkapannya, yang terdiri dari Pb-210 *excess* maupun Pb-210 *supported*. Pb-210 *supported* berasal dari tanah tererosi yang terbawa aliran sungai sebagai sedimen suspensi, sedangkan Pb-210 *excess* disamping berasal dari tanah tererosi, juga berasal dari deposisi partikel aerosol dari udara yang jatuh baik bersama hujan atau deposisi kering, kemudian teradsorpsi pada butiran halus sedimen suspensi secara kuat dan terendapkan di dasar muara. Namun demikian, karena daerah muara merupakan daerah yang sangat dinamis, Pb-210 *excess* dari aerosol ini sangat kecil dibanding dengan yang berasal dari sumber tanah tererosi. Sedimentasi di daerah muara merupakan hasil dari interaksi dari keseluruhan proses yang terendapkan di dasar muara. Dengan mengasumsikan bahwa proses demikian ini berlangsung secara berkesinambungan dan relatif tak terganggu, pengambilan kolom sedimen "*undisturbed*" dan pengukuran Pb-210 pada kolom sedimen dengan alpha spektrometri, dapat dijadikan sebagai sarana untuk mengetahui proses pengendapan yang berlangsung. Melalui pengukuran Pb-210 tiap perlapisan kolom sedimen terhadap kedalaman, dapat diperoleh pendekatan profil Pb-210 *excess* yang dapat dipergunakan untuk mengestimasi

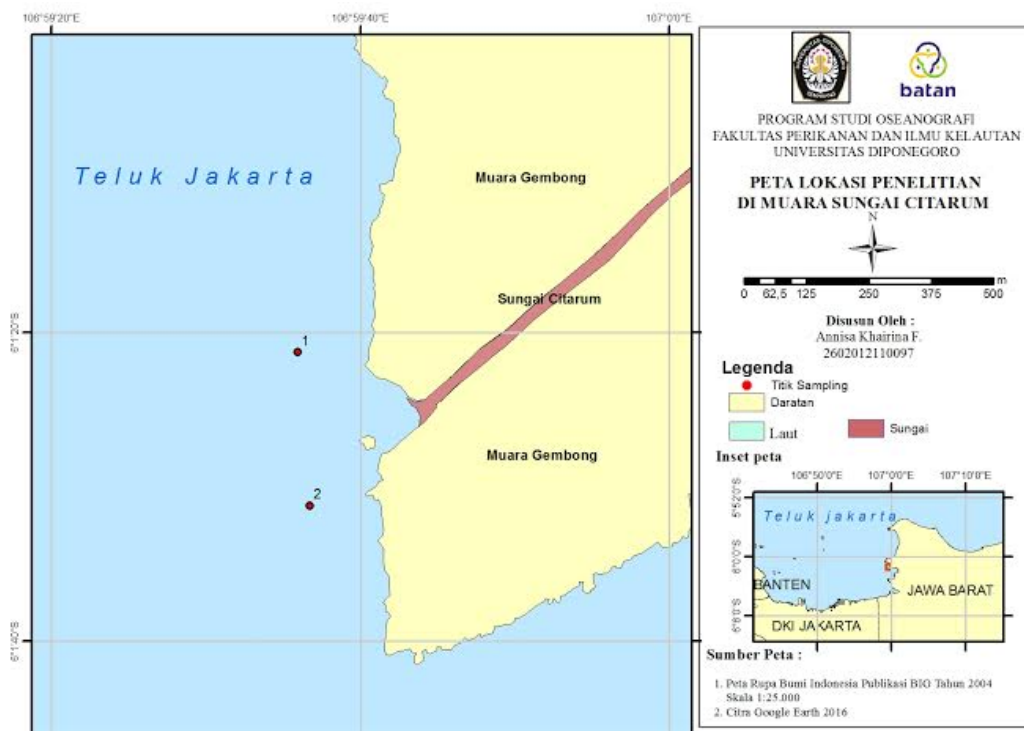
umur sedimen tiap lapisan dan laju deposisi sedimen.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan pengambilan sampel

Lokasi pengambilan sampel kolom sedimen untuk penelitian ini dilakukan menggunakan alat *coring* dengan sistim gravitasi pada titik yang telah direncanakan, dan mewakili daerah muara sungai Citarum yaitu di muara Gembong. Dengan mempertimbangkan adanya perbedaan pengaruh interaksinya dengan aliran sungai, maka pengambilan sampel *coring* di lokasi ditentukan.

gravimeter pada tempat yang telah diperkirakan mewakili daerah muara dengan menggunakan paralon (pipa PVC) panjang 70 cm dan diameter dalam 3,7 cm. Setelah mendapatkan sampel dengan kedalaman yang diinginkan, sampel diangkat ke atas secara perlahan dan sebelum ujung atas paralon keluar dari permukaan air ujung atas pipa ditutup untuk menjaga agar sampel sedimen dalam paralon tidak jatuh. Dengan cara yang sama juga dilakukan ketika sampel sudah ditarik semuanya dari badan air, ujung bawah juga segera ditutup dengan plastik. Sampel sedimen didinginkan terlebih dahulu dengan dimasukkan dalam wadah yang telah diisi dengan campuran es batu dan garam. Selanjutnya,



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel kolom sedimen undisturbed

Lokasi pengambilan sampel sedimen *coring* dilakukan di dua lokasi. Lokasi 1 adalah sebelah kanan muara aliran sungai dengan koordinat $06^{\circ}01'21,056''$ LS dan $106^{\circ}59'35,946''$ BT. Lokasi 2 adalah sebelah kiri aliran utama sungai Citarum dengan koordinat $06^{\circ}01'31,186''$ LS dan $06^{\circ}59'36,627''$ BT. Lokasi dan koordinat sampling tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 15 Mei 2016 dengan *coring* sedimen secara

sampel sedimen di bawa ke laboratorium dan disimpan dalam *freezer*.

Preparasi dan pengukuran sampel

Sampel sedimen dikeluarkan dari *freezer*, ditandai dengan spidol pada setiap lapisan kedalaman yang dibutuhkan, dipotong dengan gergaji besi, ditimbang, dikeringkan dan diukur massa kering sedimen tiap lapisannya. Pemotongan sampel dilakukan dari sisi bawah

sampel ke arah sedimen permukaan. Sampel sedimen dalam kondisi beku dipotong-potong dengan ketebalan 1 – 4 cm. Sampel yang diperoleh padalokasil sedalam 57 cm, menghasilkan 16 potong sampel interval kedalaman. Pada lokasi 2, ketebalan sampel yang diperoleh adalah 45 cm, dan diperoleh 12 sampel interval kedalaman. Sampel tersebut ditempatkan pada cawan petridan diberi label sesuai dengan lokasi pengambilan sampel dan interval kedalamannya. Selanjutnya, sampel sedimen ditimbang untuk mengetahui berat basahnya. Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 3 hari. Sampel kemudian ditimbang kembali untuk mengetahui berat keringnya, serta untuk menghitung porositas tiap per lapisan dan melihat profilnya. Setelah itu sampel dihaluskan dengan mortar, ditimbang sebanyak 4 gram, ditambahkan tracer Po-209 dan dilakukan perlakuan kimia dengan melarutkannya dalam asam kuat dengan microwave digester. Kemudian dilakukan pengendapan dan disaring dengan kertas whatman dan dilakukan “self deposition” dengan alat magnetic stirrer pada disc tembaga kemurnian tinggi (99,97 %) selama 2-3 jam. Hasil deposisi pada disc tembaga kemudian dicuci dengan menggunakan air bebas ion dan dikeringkan, kemudian dicacah menggunakan alat alpha spektrometer [3].

Pengukuran dengan alat spektrometer didasarkan pada asumsi adanya keseimbangan antara Pb-210 dengan Po-210, sehingga aktivitas Pb-210 total diperoleh melalui pengukuran aktivitas Po-210 dengan membandingkan secara relatif dengan aktivitas tracer P-209 yang ditambahkan dan telah diketahui aktivitasnya.

Analisis data

Analisis porositas

Porositas (p) merupakan perbandingan antara volume pori terhadap suatu volume total sedimen tiap interval lapisan kolom sedimen.

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{\text{Volume Pori-pori}}{\text{Volume Keseluruhan Sedimen}} \times 100\% \quad (1)$$

Di dalam kolom sedimen di muara, dengan kondisi jenuh, porositas dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Porositas (\%)} &= \frac{V_a}{V_t} \times 100\% = \left(\frac{V_t - V_s}{V_t} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{V_s}{V_t} \right) \times 100\% = \left(1 - \frac{M_s}{\delta_s V_t} \right) \times 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

dengan V_a adalah volume air (cm^3)

V_t adalah volume total kolom sedimen (cm^3)

V_s adalah volume total sedimen

M_s adalah massa kering sedimen (gr)

δ_s adalah densitas butir sedimen, yang dalam hal ini $2,65 \text{ gr/cm}^3$ [11].

Porositas dihitung berdasarkan parameter yang dapat diukur di laboratorium yaitu massa kering sedimen tiap interval lapisan sampel dan volumenya, serta mengambil asumsi densitas butir sedimen $2,65 \text{ gr.cm}^3$.

Analisis data Pb-210 untuk estimasi umur dan laju sedimentasi

Profil aktivitas Pb-210 total terhadap kedalaman dapat diketahui profilnya. Untuk mendapatkan aktivitas Pb-210 excess tiap per lapisan kedalaman diasumsikan bahwa aktivitas Pb-210 supported disetiap kedalaman kolom sampel sama, sehingga aktivitas Pb-210 supported diambil dari nilai aktivitas kolom sedimen paling dalam. Dengan pengurangan secara matematika biasa, profil Pb-210 unsupported/excess tiap pelapisan sedimen diketahui.

Penanggalan umur sedimen didasarkan pada data aktivitas Pb-210 excess tiap per lapisan sedimen dengan menerapkan model constant rate of supply (CRS) [12,13] yaitu model yang mengasumsikan deposisi Pb-210 unsupported/excess pada sedimen dalam jumlah yang sama dalam interval waktu tertentu dan dalam laju sedimentasi yang berubah-ubah. Estimasi umur sedimen dihitung dengan membandingkan cumulative Pb-210 unsupported dibawah kedalaman suatu sedimen kolom dengan total Pb-210 unsupported dalam kolom. Umur sedimen, dapat dihitung menggunakan peluruhan radioaktif berikut:

$$A_z = A(0)e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{A_z}{A(0)} = e^{-\lambda t}$$

$$\rightarrow \ln\left(\frac{A_z}{A(0)}\right) = -\lambda t \rightarrow \ln\left(\frac{A(0)}{A_z}\right) = \lambda t$$

$$\text{Atau} \rightarrow t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A(0)}{A_z} \quad (3)$$

dengan:

$A(0)$ adalah total inventori *Pb-210 excess* (Bq/m^2) dari lapisan sedimen paling atas sampai paling bawah (keseluruhan kolom sedimen).

A_z adalah inventori *Pb-210 excess* dibawah kedalaman z . λ adalah tetapan peluruhan *Pb-210*.

Laju deposisi sedimen *bulk* pada tiap satuan waktu dihitung dengan menggunakan persamaan 4 sebagai berikut:

$$R_i = \frac{\Delta Z_i}{\Delta(t_{i+1} - t_i)} \quad (4)$$

dengan

R_i adalah laju deposisi sedimen *bulk* (cm/tahun)

ΔZ_i adalah interval kedalaman sedimen (cm)

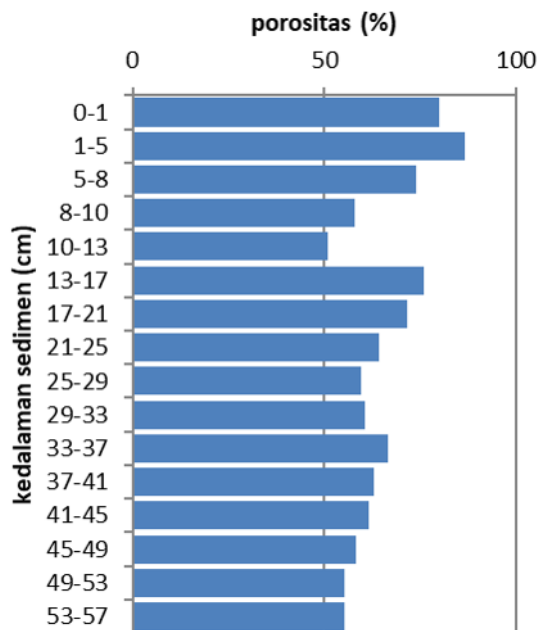
$\Delta(t_{i+1} - t_i)$ adalah selisih umur sedimen ke $i+1$ dan sedimen ke i (tahun)

HASIL DAN PEMBAHASAN

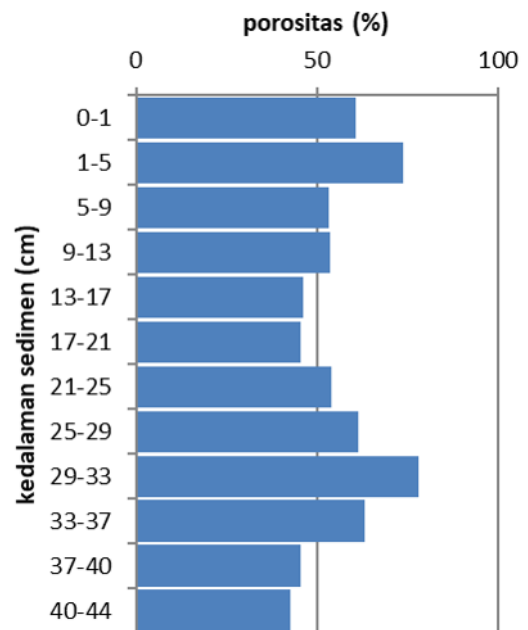
Porositas

Masing-masing profil porositas kolom sedimen pada lokasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Dengan kolom sedimen yang diperoleh sepanjang 57 cm, profil porositas pada lokasi I mempunyai nilai bervariasi dari kisaran 50 % sampai 86 %, dengan sedikit ada kecenderungan terjadi penurunan porositas dari kolom atas ke arah lebih dalam. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi antara

porositas terhadap kedalaman didapatkan $R = 0,61$. Porositas tertinggi berada pada posisi yang dekat di permukaan yaitu antara kedalaman 1 cm sampai 5 cm. Porositas terendah terjadi pada lapisan sedimen yang berada paling bawah yaitu pada kedalaman 53- 57 cm. Dengan kolom sedimen yang diperoleh sepanjang 44 cm, profil porositas pada lokasi II lebih bervariasi dibandingkan lokasi I. Profil porositas pada lokasi II bervariasi dari 42 % sampai 81 %, dibandingkan dengan sedimen lokasi I mempunyai nilai yang relatif lebih rendah. Dari kedua lokasi terlihat bahwa porositas terbesar tidak terletak pada lapisan teratas sedimen, bahkan pada sedimen kolom 2 terletak pada kedalaman 29 s/d 33 cm. Ada beberapa alasan yang mungkin terjadi yaitu proses kompaksi dan deposisi akibat redistribusi yang disebabkan oleh pencampuran fisik atau *bioturbasi*. Dengan data ini dapat diketahui bahwa kondisi sedimen kolom I kurang terkompaksi dibandingkan pada sedimen lokasi II, yang boleh jadi akibat dari pengaruh arus gelombang laut lateral lebih mempengaruhi pada sedimen di lokasi I. Pada lokasi II, koefisien korelasi antara porositas terhadap kedalaman diperoleh $R=0,25$, yang mempunyai arti terjadi korelasi positif akan tetapi kurang signifikan dibanding lokasi I. Ini menunjukkan bahwa kejadian pengendapan sedimen di lokasi I ada kecenderungan relatif sama setiap tahunnya.



Gambar 2. Profil porositas lokasi I



Gambar 3. Profil porositas lokasi II

Dua kondisi dan profil porositas tersebut memberikan gambaran bahwa sedimen pada lokasi di daerah muara mengindikasikan bahwa lokasi di daerah muara sebagai lokasi yang sangat dinamis, yang sangat memungkinkan terjadinya pencampuran sedimen akibat pengaruh dari ketiga faktor yaitu arus gelombang laut lateral, arus pasang surut dan arus aliran sungai. Hasil dari pengaruh ketiga faktor ini menyebabkan endapan/deposisi sedimen yang lebih terkompaksi pada lokasi II. Pengambilan sampel sedimen dengan metode gravitasi ini, menginformasikan bahwa kedalaman sampel yang dapat diperoleh dapat dibandingkan tingkat kompaksi antara keduanya. Sampel sedimen yang dapat diambil lebih pendek dikarenakan tingkatan kompaksinya lebih besar, dengan mempertimbangkan energi gravitasi untuk mengambil sampel tersebut relatif sama.

Profil Pb-210, estimasi umur sedimen dan deposisi bulk sedimen

Hasil pengukuran dengan alpha spektrometer dari aktivitas Pb-210 total dilaporkan sebagai nilai absolut dengan kesalahan karena stokastik peluruhan radioaktif sampai dengan 10 %, sehingga dalam perhitungan estimasi umur sedimen juga diambil nilai absolut tidak disertai dengan kesalahan propagasinya. Hasil aktivitas Pb-210 total disetiap lapisan dalam kolom sedimen lokasi I dan lokasi II dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Aktivitas Pb-210 total mempunyai nilai yang bervariasi dari kisaran nilai 18,77 Bq/kg sampai 86 Bq/kg pada sedimen lokasi I dan kisaran nilai 15,87 Bq/kg sampai 95,33 Bq/kg pada sedimen lokasi II. Pada lokasi I, aktivitas Pb-210 total tertinggi berada di lapisan dengan kedalaman (10 s/d 13 cm), sedangkan pada lokasi II aktivitas Pb-210 tertinggi berada di lapisan sedimen antara 1 s/d 5 cm. Aktivitas Pb-210 total terendah terukur pada lapisan sedimen paling bawah untuk kedua lokasi yaitu 18,77 Bq/kg pada Lokasi I dan 15,78 Bq/kg pada Lokasi II. Idealnya, aktivitas tertinggi berada pada lapisan sedimen paling atas, dan apabila tidak ada faktor luar yang mempengaruhinya, aktivitas Pb-210 total akan semakin kecil ke arah semakin dalam secara eksponensial. Pengamatan demikian dapat terlihat pada sedimen danau yang cukup dalam [14] maupun sedimen laut yang agak dalam. Namun demikian, hal demikian akan sangat jarang dijumpai dalam sedimen muara, seperti yang juga terjadi di muara Cisadane (3).

Ada beberapa kemungkinan alasan yang menyebabkan ini, diantaranya adalah adanya gangguan selama proses kompaksi sedimen, sedimen terdeposisi setelah mengalami beberapa redistribusi melalui pencampuran fisika atau bioturbasi, maupun adanya perbedaan Pb-210 *supported* tiap lapisan sedimen. Profil aktivitas ini menggambarkan bahwa pada lokasi muara ini telah mengalami banyak pengaruh dari ketiga faktor utama yaitu arus gelombang laut lateral, arus pasang surut dan arus aliran sungai. Dengan pertimbangan tersebut sebagai salah satu alasan pemilihan metode CRS yaitu yang mempertimbangkan keseluruhan profil dalam kolom seperti ditunjukkan pada persamaan (3).

Untuk mengestimasi umur sedimen, diperlukan aktivitas Pb-210 *excess* tiap lapisan sedimen. Dengan profil aktivitas Pb-210 total terhadap kedalaman didapatkan nilai aktivitas Pb-210 total terkecil dan nilai ini diasumsikan sebagai aktivitas Pb-210 *supported* dalam kolom sedimen yang sama. Dengan demikian nilai aktivitas Pb-210 *excess* tiap interval kedalaman didapat dengan Pb-210 total dikurangi dengan Pb-210 *supported*. Dari hasil pengukuran diperoleh Pb-210 *supported* sebesar 18,77 Bq/kg dan 15,78 Bq/kg masing-masing untuk kolom sedimen Lokasi I dan Lokasi II.

Hasil estimasi umur sedimen lokasi I dan II berdasarkan metode CRS yang dinyatakan dalam persamaan (3) dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dengan perhitungan menggunakan persamaan (3), diperoleh bahwa umur sedimen paling atas/permukaan dengan kedalaman 0 cm berumur 0 tahun, yaitu umur pada tahun mana sampel sedimen diambil yaitu tahun 2016. Umur sedimen yang dihitung melalui interval kedalaman merupakan umur sedimen pada kedalaman dengan batas interval atas, misal pada interval kedalaman sedimen 1-5 cm berarti umur sedimen yang terukur pada kedalaman 1 cm dan seterusnya.

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 terlihat bahwa umur sedimen pada lokasi I dan II cukup berbeda. Pada lokasi I umur sedimen terdalam (interval 49 s/d 53 cm) adalah 51,74 tahun, sedangkan pada lokasi II umur sedimen terdalam (interval 37 s/d 41 cm) adalah 67,22 tahun. Untuk analisis lebih lanjut terkait kejadian/proses transport sedimen dan deposisi antara kedua lokasi, dapat dibandingkan umur per lapisan sedimen dan interval kedalaman.

Tabel 1. Estimasi umur sedimen tiap interbval kedalaman pada Lokasi I.

Interval kedalaman (cm)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-210 <i>excess</i> (Bq/kg)	Akumulasi mass depth (kg/m ²)	Az (Bq/m ²)	Umur lapisan sedimen (th)
0-1	80,98	62,21	5,34	14088,60	0
1-5	67,75	48,98	19,60	13756,32	0,77
5-8	72,19	53,42	40,38	13058,08	2,44
8-10	60,55	41,78	62,70	11947,60	5,29
10-13	86	67,23	101,85	11015,32	7,90
13-17	32,33	13,56	127,50	8383,46	16,67
17-21	56,87	38,1	157,55	8035,58	18,03
21-25	35,25	16,48	195,56	6890,81	22,97
25-29	34,65	15,88	238,50	6264,38	26,03
29-33	58,21	39,44	280,30	5582,43	29,73
33-37	40,02	21,25	315,86	3933,88	40,97
37-41	20,16	1,39	355,21	3178,33	47,82
41-45	21,55	2,78	396,11	3123,63	48,37
45-49	23,24	4,47	440,29	3009,91	49,56
49-53	78,01	59,24	487,77	2812,42	51,74
53-57	18,77	0	539,07	-	-

Dengan membagi kolom sedimen menjadi beberapa interval kedalaman 0 s/d 10 cm, interval 10 s/d 13 cm, interval 13 s/d 33 cm dan interval 33 s/d 37 cm, dapat digambarkan kondisi transport sedimen yang mengendapkan sedimen pada lokasi I dan II akibat adanya pengaruh ketiga faktor di atas. Dalam interval kedalaman 0 s/d 10 cm terlihat terdapat perbedaan umur yang cukup signifikan antara sedimen lokasi I dan II. Pada kedalaman 10 cm di lokasi I dan 9 cm di lokasi II, estimasi umur sedimen adalah 7,90 tahun untuk lokasi I dan berkisar 11,48 tahun untuk lokasi II. Dapat dikatakan bahwa terjadi perbedaan pengaruh hidrodinamika yang diterima pada

lokasi I dan lokasi II, sehingga menyebabkan perbedaan transport dan deposisi rata-rata sedimen lebih besar pada lokasi I, yaitu berkisar 1,27 cm/tahun dibandingkan dengan lokasi II yang berkisar 0,89 cm/tahun. Perbedaan ini juga terlihat pada interval kedalaman antara 10 s/d 13 cm kolom sedimen, mempunyai laju deposisi bulk sedimen yang berbeda yaitu ketebalan bulk sedimen 3 cm tersebut dalam kurun waktu lebih dari 9 tahun di lokasi I dan berkisar 5 tahun di lokasi II.

Hal ini memberikan informasi bahwa laju deposisi bulk sedimen berubah-ubah tergantung dari resultante ketiga faktor utama yang

Tabel 2. Estimasi umur sedimen tiap interbval kedalaman pada Lokasi II.

Interval kedalaman (cm)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-210 <i>excess</i> (Bq/kg)	Akumulasi mass depth (kg/m ²)	Az (Bq/m ²)	Umur lapisan sedimen (th)
0-1	20,66	4,88	10,45	8747,93	0
1-5	95,33	79,55	38,20	8696,97	0,19
5-9	23,27	7,49	87,74	6489,49	9,59
9-13	34,46	18,68	136,95	6118,67	11,48
13-17	20,09	4,31	194,13	5199,14	16,71
17-21	27,69	11,91	252,07	4952,73	18,27
21-25	19,83	4,05	301,00	4262,75	23,09
25-29	34,85	19,07	341,87	4064,48	24,62
29-33	28,05	12,27	399,90	3285,14	31,45
33-37	45,07	29,29	450,94	2573,42	39,29
37-41	34,48	18,70	508,62	1078,52	67,22
41-45	15,78	0,00	569,36	0	-

mempengaruhi yaitu arus gelombang laut lateral, arus pasang surut dan sedimen suspensi yang terbawa arus aliran sungai. Dengan kata lain terjadi perbedaan signifikan transpor sedimen pada lokasi I dan II dalam kurun waktu berkisar antara tahun 1999 s/d 2016. Meskipun, laju deposisi sedimen rata-rata dalam kurun waktu 17 tahun (2016 – 1999) menghasilkan nilai yang sama. Hal demikian tidak teramati pada interval kedalaman kolom sedimen antara 13 cm s/d 37 cm. Pada kedalaman tersebut tiap interval kedalaman tidak mengalami banyak perbedaan laju deposisi antara sedimen di lokasi I dan II yang terlihat dari estimasi umur yang tidak berbeda nyata. Dengan cara yang sama dengan melihat Tabel 1 dan Tabel 2 dan persamaan (4), dapat diestimasi bahwa laju deposisi bulk sedimen dalam kurun waktu antara tahun 1976 s/d 1998 di lokasi I dan II tidak berbeda secara signifikan. Diantara kurun waktu tersebut laju deposisi rata-rata antara lokasi I dan II adalah 0,82 cm/tahun dan 0,89 cm/tahun. Pada sedimen dengan kedalaman 37 cm pada lokasi I berumur berkisar 47,82 tahun sedangkan umur sedimen di lokasi II berumur jauh lebih tua yaitu 67,22 tahun. Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dihitung bahwa ketebalan bulk sedimen 4 cm di lokasi I terbentuk dalam kurun waktu 6,85 tahun (47,82 -40,92), sehingga laju deposisi sedimen berkisar 0,58 cm/tahun; sedangkan ketebalan yang sama pada lokasi II terbentuk selama 27,93 tahun (67,22 – 39,29) atau laju deposisi sedimen berkisar 0,14 cm/tahun. Dengan kata lain, dari waktu lebih dari 40 tahun lalu, laju deposisi sedimen pada lokasi I jauh lebih besar dibandingkan lokasi II yang dapat diartikan bahwa selama waktu tersebut dinamika transport sedimen ke lokasi II jauh lebih kecil. Dari analisis ini dapat dikatakan bahwa laju deposisi bulk sedimen di muara Gembong sungai Citarum ada kecenderungan berubah semakin tinggi, baik di lokasi I maupun II.

KESIMPULAN

Pengambilan sampel sedimen muara Gembong sungai Citarum dilakukan dengan metode gravitasi untuk mendapatkan sampel *undisturbed*. Dengan kondisi hidrodinamika muara yang banyak dipengaruhi oleh 3 faktor utama yaitu arus gelombang laut lateral, arus pasang surut dan arus aliran sungai dengan sedimen suspensinya menyebabkan adanya

perbedaan tingkat kompaksi sedimen di sebelah kiri dan sebelah kanan mulut sungai utama. Kolom sedimen di Lokasi II yang terletak disebelah kiri muara relatif lebih terkompaksi. Lebih lanjut, berdasarkan perhitungan umur sedimen dan analisis laju deposisi sedimen dalam kurun waktu lebih pendek mengindikasikan adanya perbedaan hidrodinamika yang signifikan antar lokasi I dan II. Ada perbedaan laju deposisi sedimen tiap interval kedalaman secara signifikan di Lokasi I dan Lokasi II pada kedalaman antara 0 s/d 13 cm. Namun demikian, apabila diambil rentang waktu lebih panjang yaitu dalam rentang waktu tahun 1999 – 2016, laju deposisi sedimen tidak berbeda antara lokasi I dan II. Pada interval kedalaman sedimen antara 13 s/d 37 cm terindikasi laju deposisi sedimen dalam kurun waktu lebih pendek, relatif tidak berbeda. Sedangkan, pada kedalaman lebih dari 37 cm mengindikasikan adanya perbedaan laju deposisi sedimen yang signifikan. Dengan mengacu estimasi umur, sebelum tahun 1976 pengaruh hidrodinamika arus di muara Gembong sungai Citarum cukup berbeda secara signifikan antara Lokasi I dan Lokasi II. Dengan cara yang sama, dapat dikatakan bahwa dalam rentang waktu antara tahun 1976 –1999, pengaruh hidrodinamika arus di muara Gembong memberikan relatif homogen. Secara umum memberikan gambaran adanya kecenderungan laju deposisi rata-rata bulk sedimen yang semakin tinggi dari tahun ke tahun, yaitu sebelum tahun 1976 berkisar 0,58 cm/th dan 0,14 cm/th; antara tahun 1976 s/d 1998 berkisar 0,82 cm/th dan 0,89 cm/tahun; antara 1999 s/d 2016 berkisar 1,28 cm/tahun dan 1,28 cm/tahun, masing-masing untuk lokasi I dan lokasi II.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kamus Besar Bahasa Indonesia. <https://kbbi.web.id/muara>. [Online] [Dikutip: 25 October 2017].
- [2] Tri Atmojo, B., *Perencanaan bangunan pantai*. Yogyakarta : Beta offset, 2011.
- [3] Barokah Aliyanta, Ali Arman Lubis, Fluks deposisi Zn dan Cr di Muara Cisadane berdasarkan profil Pb-210 unsupported dan siklus banjir 5 tahunan. *Jurnal ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*,

- Jakarta, PAIR-BATAN, vol.3, no. 1, 2007.
- [4] Marko Stroke, Borut Smodis, Branko Petrinc, Zdenko Franic, Correcting for potential Rn-222 loss in Pb-210 dating of sediment from the South Adriatic Pit. *Quaternary Geochronology*, Zagreb, Croatia, ELSEVIER, vol. 18, 93-98, 2013.
- [5] Rolf Aalto, Charles A. Nittrouer, Pb-210 geochronology of flood event in large tropical river systems. [Philosophical Transactions of the Royal Society A] Exeter, UK, The Royal Society, 2012.
- [6] P. Du, D.E. Walling, Using Pb-210 measurement to estimate sedimentation rates on river floodplains. *Journal of Environmental Radioactivity*, Beijing, China, ELSEVIER, vol. 103, 59-75, 2012.
- [7] Valentin Golosov, Desmond Walling, Using fallout radionuclides to investigate recent overbank sedimentation. New Orleans, Louisiana, USA, IAHS Publ. 367, 2014.
- [8] C.E. Renshaw, K. Abengoza, F.J. Magilligan, W.B. Dade, J.D. Landis, Impact of flow regulation on near-channel floodplain sedimentation. *Geomorphology*, Hanover, USA, ELSEVIER, vol. 205, 120-127, 2014.
- [9] Barokah Aliyanta, Nita Suhartini, Bungkus Pratikno, Studi awal penentuan Sumber Sedimen DAS Cisadane Hulu dengan Radionuklida Alam. *Jurnal ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Jakarta : PAIR-BATAN, vol. 11, 39-49, 2015.
- [10] Ali Arman Lubis, Barokah Aliyanta, Yulizon Menry, Estimasi Laju Akumulasi Sedimen Daerah Teluk Jakarta dengan Teknik Radionuklida Alam Unsupported Pb-210. *Indonesian Journal of Chemistry*, Yogyakarta, DIKTI, vol. 7, 309-313, ISSN 1411-9420, 2007.
- [11] Matthew Smith & Samuel J. Bentley, Sr., Sediment capture in flood plain of the Mississippi: A case study in Cat Island National Wildlife Refuge, Louisiana. Louisiana, USA, IAHS Publ. 367, 11-14 December, 2014.
- [12] Marko Strok, Borut Modis, Branko Petrinc, Zdenko Franic, Correcting for potential Rn-222 loss in Pb-210 dating of sediments from the South Adriatic Pit. *Quaternary Geochronology*, Ljubljana, Slovenia, ELSEVIER, vol. 18, 93-98, 2013.
- [13] P. Du, D.E. Walling, Using Pb-210 measurement to estimate sedimentation rates on river floodplains. *Journal of Environmental Radioactivity*, Beijing, China, ELSEVIER, vol. 103, 59-75, 2012.
- [14] V. Putyrskaya, E. Klemm, S. Rollin, M. Astner, H. Sahli, Dating of sediment from four Swiss prealpine lakes with Pb-210 determined by gamma-spectrometry: progress and problems. *Journal of Environmental Radioactivity*, Weingarten, Germany, ELSEVIER, vol. 145, 78-94, 2015.

