

**APLIKASI DATING PB-210 UNTUK ESTIMASI LAJU
SEDIMENTASI MUARA CIGEDE DAN CIOMAS PADA DAERAH
TANGKAPAN WADUK MALAHAYU - BREBES**

Tommy Hutabarat
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) , BATAN
e-mail : tevarito@batan.go.id

Abstract

THE APPLICATION OF PB-210 DATING TO ESTIMATION THE SEDIMENTATION RATE OF CINANGKA AND CIRENGIT ESTUARY ON DARMA - WATERSHED. The application of Pb-210 dating to estimation the rate of sedimentation on the estuary of Cigede and Ciomas reservoirs of Malahayu has been done. Sampling sediment was carried out using a coring tool with diameter of 5 cm and a length of 2 m at the depth to 30 cm, then each 2 cm thickness of samples was sliced. Before the measurement of Pb-210, samples were prepared chemically. The measurement of Pb-210 was performed using gamma and alpha spectrometry. The results obtained sedimentation rate for Ciomas and Cigede estuary were of 1,04 cm/year and 1,23 cm / year, respectively . This research was carried out in order to erosion study using natural isotope of Cs-137 through activities of Block Grant 2011 in Malahayu - Brebes reservoirs.

Key words : ²¹⁰Pb, Cigede estuary, Ciomas estuary, sedimentation

Pendahuluan

Erosi tanah yang disebabkan oleh air dan dampaknya terhadap lingkungan merupakan fenomena alam yang sangat memprihatinkan banyak negara. Banyaknya perubahan ekosistem yang terjadi belakangan ini menyebabkan peningkatan pelimpahan air sungai , banjir, erosi yang akhirnya akan bermuara pada peningkatan sedimentasi di daerah *down stream*. Hal ini tentunya sangat menggugah para pemerhati lingkungan untuk mendapatkan informasi melalui penelitian.

Lebih dari 200 tahun terakhir sedimentasi suatu danau atau reservoir telah menjadi isu utama yang berkembang dalam lingkungan global. Salah

satu cara untuk mengukur bagaimana suatu reservoir atau waduk telah mengalami perubahan adalah dengan mengamati material yang tererosi menggunakan metode penanggalan Pb-210 untuk menentukan laju akumulasi sedimen (1). Melalui analisis unsur Pb-210 dalam sedimen, kronologi deposisi akan dapat ditentukan.

Pb-210 merupakan radionuklida lingkungan yang berasal dari peluruhan induk U-238 yang ada di alam. Isotop ini terdapat dalam kerak bumi dengan kelimpahan 99,27 % sedangkan isotop lain yaitu U-235 dan U-234 berturut-turut dengan kelimpahan 0,72 % dan 0,06 %. Pb-210 mempunyai waktu paro 22,36 tahun dan meluruh menjadi Bi-214 dengan memancarkan partikel beta. Secara ringkas keberadaan Pb-210 dalam udara sebagai hasil dari deret peluruhan berikut. Ra-226 yang berasal dari U-238 dalam kerak bumi meluruh menjadi gas Rn-222 yang berdifusi ke udara dengan rata-rata 42 atom/menit.Cm² luasan permukaan tanah. Rn-222 mempunyai waktu paro 3,8 hari dan meluruh melalui deretan anak luruhnya menjadi Pb-210. Terdapat 2 sumber utama Pb-210 yaitu berasal dari udara sebagai partikel aerosol yang beterbangan dan jatuh ke tanah dan berasal dari tanah itu sendiri.

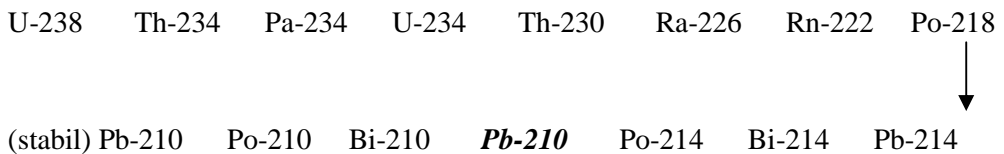
Pb-210 bersama air hujan atau menempel pada debu mineral yang beterbangan di udara turun ke permukaan tanah secara langsung dan masuk ke danau baik secara langsung maupun melalui sungai ataupun aliran permukaan. Pb-210 dalam tanah akan teradsorpsi kuat oleh partikel halus tanah, sehingga dapat dijadikan sebagai perunut pergerakan tanah karena aliran permukaan. Jatuhan Pb-210 dari udara ke permukaan tanah dan teradsorpsi oleh partikel halus dikenal sebagai Pb-210_{Unsupported} atau disebut juga Pb-210_{Excess}. Sedangkan Pb-210 berasal dari tanahnya sendiri dikenal sebagai Pb-210_{Supported} (2). Pengukuran aktivitas Pb-210 total dalam tanah dapat dilakukan melalui cucu peluruhannya yaitu Polonium-210 (Po-210) yang diasumsikan dalam keadaan setimbang dengan Pb-210. Aktivitas Pb-210_{Unsupported} dapat diperoleh melalui pengukuran total Pb-210 dikurangi dengan aktivitas Pb-210_{Supported} yang berasal dari tanah dan diasumsikan dalam kesetimbangan dengan aktivitas Ra-226 (3,4). Metode penanggalan Pb-210 tergantung pada kelangsungan suplai Pb-210_{Unsupported} pada lokasi studi.

Tujuan penelitian adalah untuk menentukan umur sedimen, kronologi endapan sedimen dan penentuan laju sedimentasi menggunakan radionuklida alam Pb-210 sebagai perunut melalui analisis profil Pb-210_{unsupported} dalam

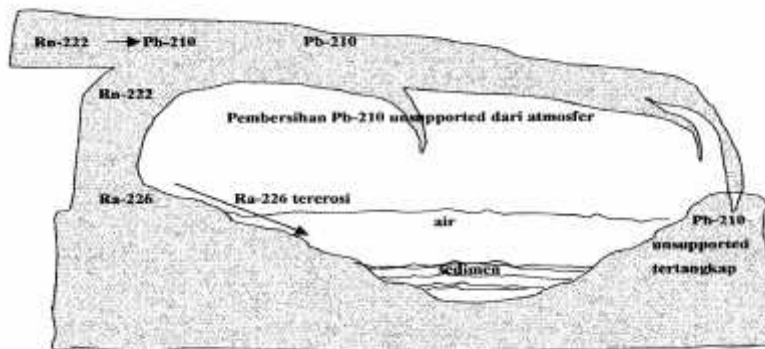
sedimen *coring* . Penelitian ini dilakukan dalam rangka penelitian erosi menggunakan isotop alam Cs-137 melalui kegiatan *Block Grant* 2011 di daerah tangkapan Waduk (DTW) Malahayu – Kuningan.

Teori

Isotop Pb-210 dialam berasal dari peluruhan induk radionuklida U-238 yang diyakini telah terdapat dialam sejak ratusan ribu tahun yang lalu. Sederetan peluruhan Pb-210 dapat dinyatakan sebagai berikut :



Mekanisme pengendapan radionuklida alam Pb-210 di alam dapat dilihat pada gambar 1



Gambar.1. Mekanisme pengendapan Pb-210 di alam.

Dalam aplikasinya, keberadaan isotop alam tersebut sangat membantu dalam suatu penelitian ilmiah untuk memecahkan problem yang berkaitan dengan masalah degradasi sumber daya tanah, diantaranya adalah : (1) studi erosi pada suatu lokasi perkebunan, lokasi sepanjang daerah aliran sungai atau pada daerah tataguna lahan/tanah olahan; (2) studi penanggalan (*dating*) di daerah muara atau danau serta (3) geokronologi sedimen. Menurut (Imboden dan Stiller, 1982) terdapat pengaruh perubahan Rn-222 pada distribusi Pb-210 dalam sedimen dan didapat satu model matematik untuk menggambarkan distribusi Rn-222 dalam sampel sedimen. Akumulasi Pb-

210 dalam sedimen akan terkubur dan mengalami peluruhan. Melalui perbandingan konsentrasi Pb-210 pada setiap lapisan kedalaman dengan sampel permukaan, umur sedimen dapat dihitung dengan persamaan peluruhan radioaktif sebagai berikut :

$$C_d = C_0 \cdot e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- C_d = konsentrasi Pb-210 pada kedalaman d (Bq/kg)
- C₀ = konsentrasi Pb-210 pada permukaan (Bq/kg)
- λ = konstanta peluruhan Pb-210
- t = umur sedimen pada kedalaman d

dengan operasi logaritma natural maka diperoleh persamaan :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln (C_0/C_d) \dots\dots\dots(2)$$

dimana : t = umur sedimen (tahun)

λ = konstanta peluruhan

C₀ = konsentrasi Pb-210 pada permukaan (Bq/kg)

C_d = konsentrasi Pb-210 pada kedalaman d (Bq/kg)

Model ini diasumsikan bahwa pada skala waktu yang dipelajari, konsentrasi Pb-210 pada permukaan air-sedimen konstan dan disebut konsentrasi awal tetap (*Constant Initial Concentration = CIC*)

Metode penanggalan Pb-210 tergantung pada kelangsungan suplai Pb-210 *Unsupported* pada lokasi studi. Akumulasi Pb-210 dalam sedimen akan terkubur dan akan mengalami peluruhan. Melalui pengukuran aktivitas Pb-210 pada permukaan sampel *coring* yang diambil dari dasar muara dan lapisan sampel maka akan dapat ditentukan kronologi endapan sedimen *coring* (5).

Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sampel sedimen kering, tracer Po-209, larutan HCl 6N, HNO₃ 4N, HCl 0.5M dan asam askorbat.

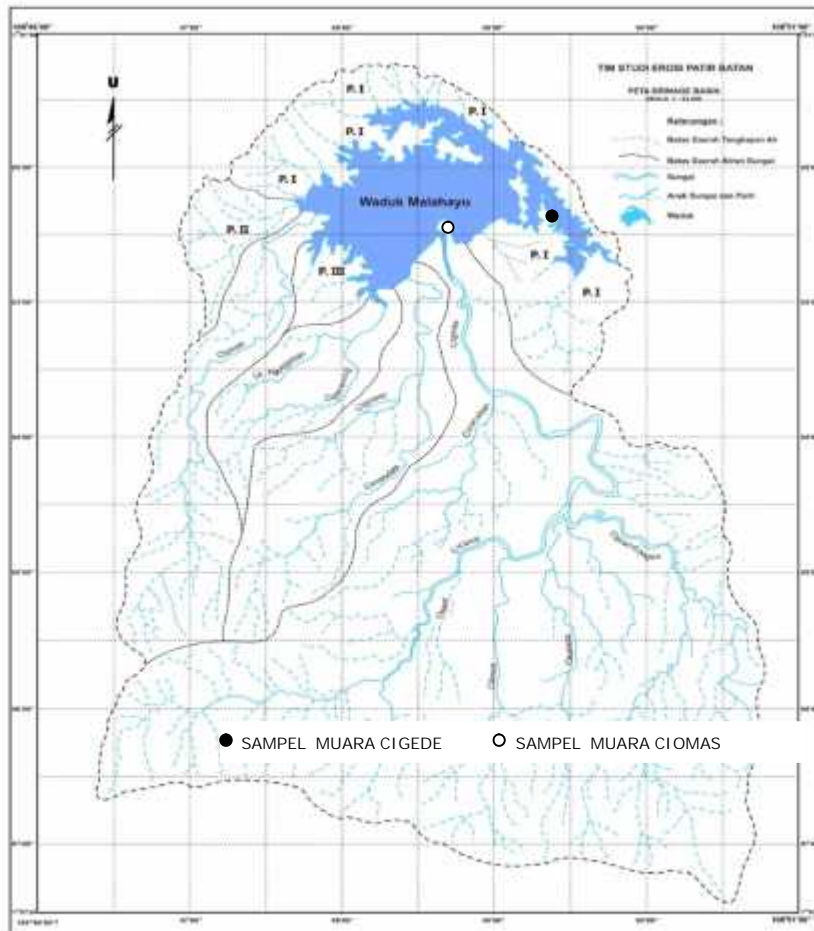
Alat yang digunakan

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pemanas/oven, pembakar kapasitas 450⁰C, timbangan, pipet dan propipet, silver disc diameter 1 cm, spektrometer alfa, spektrometer gamma, silver polish, gelas beker, glyptal dan lemari asam.

Tata Kerja

a. Pengambilan sampel sedimen

Penelitian ini dilakukan pada 2 sub Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu : DAS Cigede dan DAS Ciomas di lokasi Daerah Tangkapan Waduk (DTW) malahayu – Brebes. Sampel sedimen diambil pada sekitar muara DAS Cigede dan DAS Ciomas yang ikut berkontribusi terhadap proses sedimentasi (gambar.2). Sampel diambil menggunakan alat *coring* sedimen terbuat dari bahan pipa PVC diameter 5 cm dan panjang 2 m. Kemudian pada salah satu ujung alat coring berisi sedimen disumbat dan diletakkan pada posisi berdiri dan dibekukan menggunakan campuran Dry Ice dengan acetone. Kemudian sampel sedimen dipotong setiap 2 cm dan dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Agustus 2011. Analisis kandungan Pb-210 dilakukan di laboratorium sedimentologi, Bidang Industri dan Lingkungan – PATIR.



Gambar 2. Peta Daerah Tangkapan Waduk Malahayu - Brebes

b. Preparasi sampel

Tahapan preparasi sampel dilakukan sebagai berikut :

1. sampel sedimen kering ditimbang sebanyak 4 gram dan dimasukkan kedalam gelas beker 100 cc
2. ditambahkan larutan tracer Po-209 sebanyak 0,4 bq/cc, kemudian dikeringkan dengan penambahan 25 cc HNO₃ 4N
3. ditambahkan 25 cc aqua regia dan dikeringkan
4. ditambahkan 25 cc HCl 6M dan dikeringkan
5. ditambahkan 20 cc HCL 0,5M

6. larutan dipindahkan ke dalam gelas beker 50 cc kemudian diinapkan semalam
7. setelah diinapkan larutan dipanaskan pada temperatur 85 – 90°C
8. ditambahkan 200 mg asam askorbik
9. dicelupkan piringan perak ke dalam larutan yang sebelumnya dibersihkan dengan silver polish dan salah satu sisi ditutup dengan glyptal
10. selanjutnya piringan perak dalam larutan diaduk menggunakan magnetik stirer selama 24 jam
11. Po-209 yang terdeposisi pada permukaan perak dicacah menggunakan spektrometer alfa

c. Analisis Pb-210_{supported} dan Pb-210_{unsupported}

Pengukuran aktivitas Pb-214 dalam kesetimbangan dengan Ra-226 dilakukan menggunakan spektrometer gamma pada energi 351 keV yang mewakili aktivitas Pb-210_{supported}. Pengukuran aktivitas Pb-214 dilakukan menggunakan detektor HPGE selama 24 jam. Untuk analisis Pb-210 total sampel dipreparasi secara kimia yaitu dengan menambahkan tracer Po-209 beraktivitas 169 mBq yang dilakukan oleh Chavez-Chabeza dkk kemudian diukur menggunakan spektrometer alfa dengan detektor PIPS (*Passivated Implanted Planar Silicon*) selama 3 - 4 jam (6). Pencacahan aktivitas Pb-214 dilakukan menggunakan software Maestro sedangkan Pb-210 total menggunakan software Gennie 2000. Penentuan Pb-210_{Unsupported} dilakukan melalui pengukuran aktivitas Pb-210 total dikurangi dengan aktivitas Pb-210_{supported} yang berasal dari tanah dan diasumsikan dalam kesetimbangan dengan aktivitas Ra-226.

d. Penentuan nilai Pb-210 total

Penentuan Pb-210 total dihitung menggunakan rumus yang digunakan oleh Chavez-Chabeza :

$$A(\text{Pb-210}) = \left\{ \frac{N_{210}S^{-1}}{N_{209}S^{-1}} \right\} \times \left\{ A(\text{Po}^{209}) / \text{gramsedimen} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

dengan : $A(\text{Pb-210})$ = jumlah Pb-210_{unsupported} dibawah kedalaman x cm (bq/m²)

$$N_{210}S^{-1} = \text{cacahan Po-210}$$

$$N_{209}S^{-1} = \text{cacahan Po-209}$$

$$A(\text{Po}^{209}) = \text{koefisien peluruhan} = 0,0864$$

Hasil dan Pembahasan

Data kedalaman, Pb-210 total, Pb-210_{supported} dan Pb-210_{unsupported} sampel sedimen *coring* lokasi MCG (Muara Cigede) dan MCO (Muara Ciomas) Waduk Malahayu - Brebes dapat dilihat pada tabel 1 dan 2. Nilai aktifitas Pb-210 total dihitung menggunakan persamaan 3 (kolom 2). Nilai aktifitas untuk Pb-210_{supported} (kolom 3) diasumsikan setimbang dengan Ra-226 dan meluruh kembali membentuk gas Rn-222 yang kemudian meluruh melalui rangkaian peluruhan waktu paro pendek membentuk Pb-210. Nilai Pb-210_{supported} relatif konstan pada kedalaman lapisan atas, tengah dan bawah pada *coring* sedimen (Hancock dan Hunter, 1999). Sedangkan untuk Pb-210_{unsupported} (kolom 4) diperoleh dari pengurangan Pb-210 total dengan Pb-210_{supported} (Hakanson *et all*, 1983)

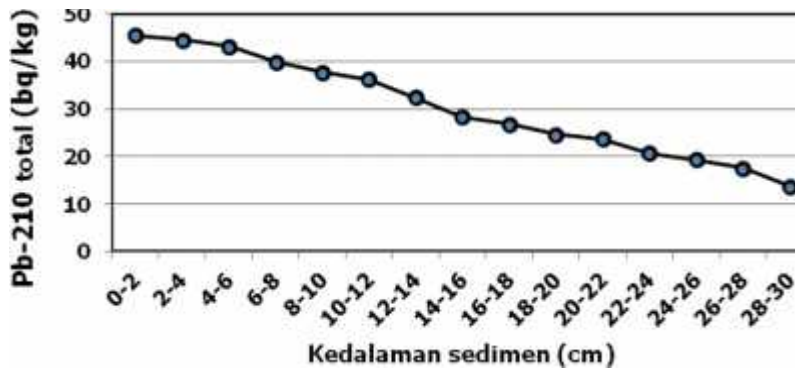
Tabel 1. Data kedalaman, cacahan, Pb-210 total, Pb-210_{supported} dan Pb-210_{unsupported} sampel sedimen *Coring MCG* Muara Cigede Waduk Malahayu - Brebes

Depth (cm)	Pb-210 total (bq/kg)	Pb-210 supported (bq/kg)	Pb-210 unsupported (bq/kg)
0-2	45.465	7,400	38.065
2-4	44.453	7,400	37.053
4-6	43.178	7,400	35.778
6-8	39.854	7,400	32.454
8-10	37.756	7,400	30.356
10-12	36.245	7,400	28.845
12-14	32.452	7,400	25.052
14-16	28.343	7,400	20.943
16-18	26.854	7,400	19.454
18-20	24.641	7,400	17.241
20-22	23.656	7,400	16.256
22-24	20.776	7,400	13.376
24-26	19.421	7,400	12.021
26-28	17.572	7,400	10.172
28-30	13.744	7,400	6.344

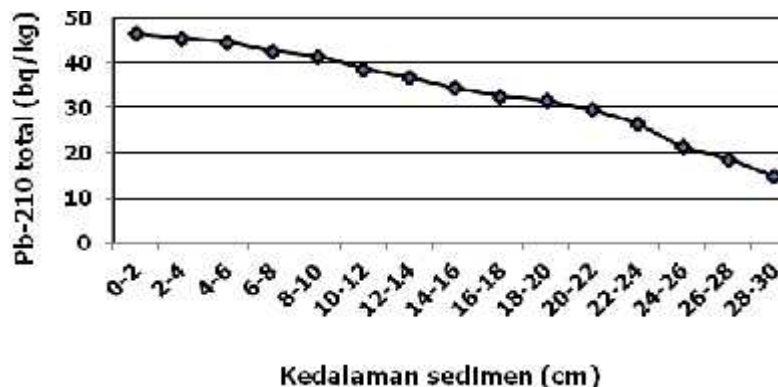
Tabel 2. Data kedalaman, cacahan, Pb-210 total, Pb-210_{supported} dan Pb-210_{unsupported} sampel sedimen *Coring MCO* Muara Ciomas Waduk Malahayu - Brebes

Depth (cm)	Pb-210 total (bq/kg)	Pb-210 supported (bq/kg)	Pb-210 unsupported (bq/kg)
0-2	46,435	7,400	39.0350
2-4	45,431	7,400	38.0310
4-6	44,534	7,400	37.1340
6-8	42,546	7,400	35.1460
8-10	41,458	7,400	34.0580
10-12	38,539	7,400	31.1390
12-14	36,765	7,400	29.3650
14-16	34,421	7,400	27.0210
16-18	32,667	7,400	25.2670
18-20	31,643	7,400	24.2430
20-22	29,656	7,400	22.2560
22-24	26,642	7,400	19.2420
24-26	21,323	7,400	13.9230
26-28	18,645	7,400	11.2450
28-30	14,757	7,400	7.3570

Pada titik *coring* MCG , aktivitas total Pb-210 berkisar antara 13,744 – 45,465 bq/kg di kedalaman 28 - 30 dan 0 – 2 cm, sedangkan pada titik *coring* MCO di kedalaman 28 – 30 cm dan 0 – 2 cm yaitu dengan kisaran aktivitas antara 14,757 – 46,435 bq/kg . Profil Pb-210 total menunjukkan penurunan aktivitas dengan bertambahnya kedalaman sedimen (Gambar 3a dan 3b).



Gambar 3a. Profil Pb-210 total terhadap kedalaman lokasi MCG



Gambar 3b. Profil Pb-210 total terhadap kedalaman lokasi MCO

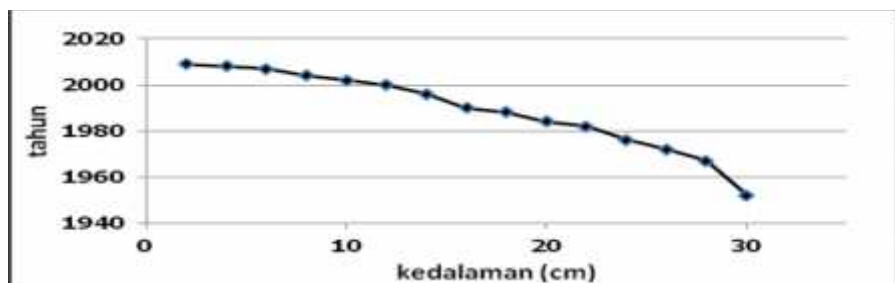
Penurunan ini disebabkan oleh peluruhan radioaktif dari Pb-210 terhadap waktu. Lapisan dalam menunjukkan waktu yang lebih lama karena peluruhan radioaktif diasumsikan sebagai indikasi dari penurunan konsentrasi terhadap kedalaman (Jeter, 1999). Nilai konsentrasi aktifitas Pb-210_{unsupported} lokasi MCG berkisar antara 6,344 – 88,065 Bq/kg dan pada lokasi MCO dengan kisaran 14,750 – 46,428 Bq/kg. Dari pola grafik pada gambar 3a dan 3b dapat dijelaskan bahwa aktivitas Pb-210 total semakin menurun secara eksponensial dengan bertambahnya lapisan tanah. Secara sederhana hal ini disebabkan oleh kehadiran Pb-210_{Unsupported} di lapisan dalam lebih lama dibandingkan dengan lapisan atas sehingga mengalami peluruhan.

Dengan asumsi bahwa Pb-210 terdeposit di permukaan waduk cukup konstan sepanjang waktu maka akan dapat diperoleh umur lapisan sedimen pada setiap kedalaman. Dengan menggunakan persamaan 2 dan konstanta peluruhan sebesar 0.031, Co sebesar 40,15 Bq/kg serta Cd untuk kedalaman 0 - 2 cm sebesar 38,06 Bq/kg maka umur sedimen (t) pada kedalaman 0 - 2

cm adalah 1,44 tahun atau endapan sedimen terbentuk sejak tahun 2011. Data kedalaman, Cd , lamda dan Co sampel sedimen *coring MCG* muara Cigede dan *coring MCO* muara Ciomas waduk Malahayu dapat dilihat pada tabel 3 dan 4. Profil umur sedimen terhadap kedalaman dapat dilihat pada gambar 4a dan 4b.

Tabel 3. Data kedalaman, Cd, lamda dan Co sampel sedimen *coring MCG* waduk Malahayu - Brebes

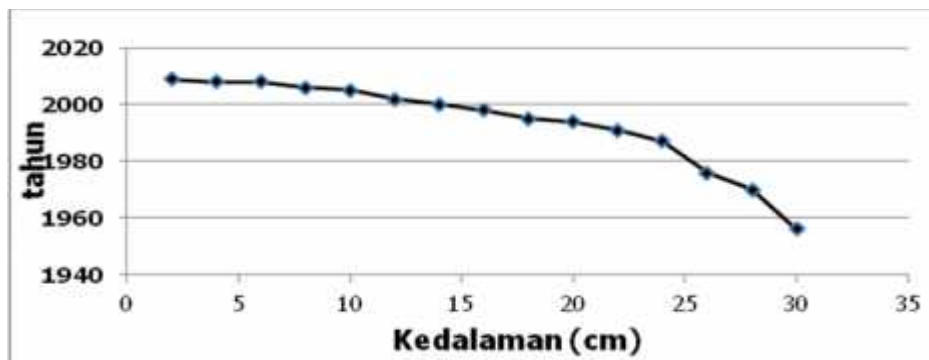
Depth (cm)	Co (bq/kg)	lamda	Cd (bq/kg)	Umur (thn)	Tahun
0	40,15	-	-	-	2011
2	40,15	0,031	38.065	1.720233	2009
4	40,15	0,031	37.053	2.589455	2008
6	40,15	0,031	35.778	3.719008	2007
8	40,15	0,031	32.454	6.864475	2004
10	40,15	0,031	30.356	9.020266	2002
12	40,15	0,031	28.845	10.66728	2000
14	40,15	0,031	25.052	15.21512	1996
16	40,15	0,031	20.943	20.99413	1990
18	40,15	0,031	19.454	23.37322	1988
20	40,15	0,031	17.241	27.26878	1984
22	40,15	0,031	16.256	29.16646	1982
24	40,15	0,031	13.376	35.45679	1976
26	40,15	0,031	12.021	38.90217	1972
28	40,15	0,031	10.172	44.28979	1967
30	40,15	0,031	6.344	59.51977	1952



Gambar 4a. Profil umur (tahun) sedimen terhadap kedalaman lokasi MCG

Tabel 4. Data kedalaman, Cd, lamda dan Co sampel sedimen *coring* MCO waduk Malahayu - Brebes

Depth (cm)	Co	lamda	Cd	Umur (thn)	Tahun
0		-	-	-	2011
2	41.08	0,031	39.0350	1.647184	2009
4	41.08	0,031	38.0310	2.487734	2008
6	41.08	0,031	37.1340	3.25769	2008
8	41.08	0,031	35.1460	5.032599	2006
10	41.08	0,031	34.0580	6.046982	2005
12	41.08	0,031	31.1390	8.93743	2002
14	41.08	0,031	29.3650	10.82961	2000
16	41.08	0,031	27.0210	13.51313	1998
18	41.08	0,031	25.2670	15.67814	1995
20	41.08	0,031	24.2430	17.01269	1994
22	41.08	0,031	22.2560	19.77128	1991
24	41.08	0,031	19.2420	24.46535	1987
26	41.08	0,031	13.9230	34.90256	1976
28	41.08	0,031	11.2450	41.79348	1970
30	41.08	0,031	7.3570	55.47965	1956



Gambar 4b. Profil umur (tahun) sedimen terhadap kedalaman lokasi MCO

Pada tabel 3 dan 4 juga disertakan perhitungan umur sedimen dan tahun terbentuknya sedimen di lokasi penelitian. Umur lapisan sedimen pada kedalaman 30 cm lokasi MCG lebih tua dibanding lokasi MCO yaitu berumur sekitar 59 tahun (sekitar tahun 1952) yang merupakan umur paling tua yang dapat ditentukan dengan metode Pb-210, sedangkan pada lapisan 2

cm lokasi MCO merupakan umur paling muda sekitar 1,5 tahun (sekitar tahun 2009). Pada gambar 4a dapat dijelaskan bahwa proses sedimentasi pada kedalaman 30 cm di titik lokasi MCG sudah terjadi sekitar tahun 1952 dan pada sedimen permukaan yaitu kedalaman 2 cm sudah terjadi sekitar tahun 2009. Sedangkan pada titik lokasi MCO (gambar 4b) proses sedimentasi pada kedalaman 30 cm terjadi sekitar tahun 1956 dan pada sedimen permukaan yaitu kedalaman 2 cm sudah terjadi sekitar tahun 2009. Dari hasil analisis hubungan antara umur dan kedalaman diperoleh laju sedimentasi lokasi MCG sebesar 1,23 cm/tahun dan lokasi MCO sebesar 1,04 cm/tahun. Proses sedimentasi tersebut sebagai akibat dari materi sedimen tanah dari daerah *up stream* akibat proses erosi yang terbawa oleh aliran sungai menuju waduk (*down stream*). Aplikasi teknik nuklir dengan menggunakan penanggalan Pb-210 terbukti mampu menjawab persoalan yang berkaitan dengan masalah lingkungan khususnya yang terkait dengan proses sedimentasi suatu reservoir.

Simpulan

Aplikasi Pb-210 dating pada muara Cigede (MCG) dan muara Ciomas (MCO) Waduk Malahayu – Brebes telah dilakukan. Profil Pb-210 total menunjukkan penurunan aktivitas dengan bertambahnya kedalaman sedimen, hal ini disebabkan oleh kehadiran Pb-210 pada lapisan bawah lebih lama dibandingkan dengan lapisan atas. Dari analisis umur lapisan sedimen pada kedalaman 30 cm titik lokasi muara DAS Cigede (MCG) dapat diinformasikan bahwa sedimentasi terbentuk sejak 59 tahun yang lampau (tahun 1952), sedangkan pada titik lokasi muara Ciomas (MCO) terbentuk sejak 55 tahun yang lampau (tahun 1956). Dari hasil analisis hubungan antara umur dan kedalaman diperoleh estimasi laju sedimentasi lokasi MCG sebesar 1,23 cm/tahun yang lebih besar dari lokasi MCO yaitu sebesar 1,04 cm/tahun. Hasil kajian ini bermanfaat dalam mendukung studi erosi menggunakan isotop alam Cs-137 di lokasi Waduk Malahayu. Aplikasi teknik nuklir dengan menggunakan penanggalan Pb-210 terbukti mampu menjawab persoalan yang berkaitan dengan masalah lingkungan khususnya yang terkait dengan proses sedimentasi suatu reservoir.

DAFTAR PUSTAKA

- C., OBIOL, R.P., and Cano, JP. (1993). Record of Anthropogenic Environmental Impact in The Continental Shelf North of Barcelona City, Proceeding of a symposium, IAEA.
- IAEA.. Use of Nuclear Techniques in Studying Soil Erosion and Siltation. IAEA- TECDOC-828. Vienna, 1993.
- JONES, B.G And B.E, CHENHALL, 2001, “Lagoonal and estuarine sedimentation During the past 200 years”, In H. Heijinis and K. Harle (Eds), Proceedings of the Archives of Human impact of the last 200 years, Environment Workshop, AINSE
- PAKWOOD, A. 1999, “ Environmental investigation”, Lake Conjola. Honours thesis, University of Wollongong
- SANCHEZ-CABECA , JA., Masque, P., Schell, W.R., Palanques, A., Valiente, M., Palet,
- OLDFIELD, F. and APPLEBY, 1984, Empirical testing of Pb dating models for lake sediment, In E.Y. Hayworth and J>W>G. Lund (Eds). Sediments and Environmental History, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- WIELAND, E et al., Scavenging of Chernobyl ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb in lake sempach, Switzerland. *Geochemica et Cosmochemica Acta*. Vol. 57. Pergamon Press Ltd.. 1993