

Estimasi Laju Akumulasi Sedimen di Perairan Laut Jawa Menggunakan *Unsupported Pb-210*

Estimation of Sediment Accumulation Rate in Java Sea Using Unsupported Pb-210

S. Susanti^{1*}, T. Prartono¹, R. Zuraida², dan A. Arman³

¹ Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Agathis Gd. Marine Center, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

² Pusat Survey Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jl. Diponegoro No. 57, Bandung 40122, Indonesia

³ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

* E-mail : santis.c5404@gmail.com

ABSTRAK

Akumulasi sedimen di perairan Laut Jawa terjadi cukup cepat karena banyaknya masukan material sedimen dari wilayah sekitar. Sejauh ini belum ada penelitian yang memberikan estimasi laju akumulasi di bagian tengah Laut Jawa dengan menggunakan Pb-210 sebagai *tracer*. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung estimasi laju akumulasi sedimen Laut Jawa dengan menggunakan profil *unsupported Pb-210*. Sedimen *core* diambil dari dua lokasi di perairan Laut Jawa (bagian barat dan timur) menggunakan *multicore* pada saat *cruise* kapal riset Geomarin 3, MAJAFLOX 2015, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL), Bandung. Diperoleh panjang sedimen *core* untuk bagian barat dan timur berturut-turut adalah 35 cm dan 37 cm. Contoh sedimen dipotong dengan interval yaitu 2 cm pada kisaran kedalaman (0-10 cm), 4 cm (kedalaman 10-22 cm) dan 6 cm (kedalaman >22 cm). Analisis aktivitas Pb-210 dilakukan menggunakan detektor *Passivated Implanted Planar Silicon* (PIPS) Alpha Spektrometer. Model *Constant Rate of Supply* (CRS) digunakan untuk menghitung laju akumulasi dan umur sedimen. Hasil menunjukkan laju akumulasi sedimen di bagian barat bervariasi antara 0,002-0,014 kg/m²/th dalam kurun waktu tahun 126 tahun dan di bagian timur bervariasi antara 0,002-0,020 kg/m²/th dalam kurun waktu 128 tahun. Laju akumulasi sedimen mulai mengalami peningkatan pada tahun 1950 dengan laju 0,005 kg/m²/th hingga saat ini mencapai 0,020 kg/m²/th.

Kata kunci : akumulasi sedimen, *unsupported Pb-210*, CRS, spektrometer alfa, Laut Jawa

ABSTRACT

The sediment accumulation rate in Java Sea is relatively high and is interpreted to be related to the large sediment input from surrounding areas. **to** date, no estimation of accumulation rate has been conducted using Pb-210. This study aims to estimate the sediment accumulation rate through unsupported Pb-210 profile. Sediment cores were collected using multicore from two locations (west and east) in Java Sea during the cruise of Geomarin 3, MAJAFLOX 2015, P3GL, Bandung. Sediment samples with a length of 35 cm in the western and 37 cm in the eastern were sliced in different interval: 2 cm (0-10 cm deep), 4 cm (10-22 cm deep) and 6 cm (>22 cm deep). Activity of Pb-210 was analyzed using Alpha Spectrometer Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) detector. Constant Rate of Supply (CRS) model has been applied to determine the accumulation rates and ages of sediment. The sediment accumulation rate in the western showed a variation from a low of 0.002 to a high of 0.014 kg/m²/y ^{for} 126 years, while in the eastern core varied from 0.002 to 0.020 kg/m²/y for 128 years. The accumulation rates increased from 0.005 kg/m²/y ^{to} 0.020 kg/m²/y in period of 1950 to date.

Keywords : sediment accumulation, unsupported Pb-210, CRS, alpha spectrometer, Java Sea

PENDAHULUAN

Sedimentasi merupakan proses penumpukan partikel yang berasal dari proses pelapukan, erosi, dan produksi biogenik, melalui transportasi dan deposisi menjadi sedimen di dasar perairan [1]. Modifikasi pasokan sedimen yang dapat merubah karakter sedimen disebabkan sebagian besar oleh perubahan lahan yang meningkatkan laju erosi di wilayah aliran sungai [2], [3] dan urbanisasi, sehingga terjadinya percepatan fluks sedimen [4]. Oleh karena itu, pengukuran laju akumulasi sedimen dapat memberikan informasi terkait kondisi alami dan perubahan dari permukaan dasar laut [5]. Hal ini diperkirakan juga terjadi di wilayah perairan Laut Jawa karena banyaknya muara sungai dari tiga pulau utama yaitu Sumatra, Jawa dan Kalimantan [6], [7], [8].

Penentuan laju akumulasi sedimen dapat dilakukan melalui pengukuran radioisotop seperti C-14, Be-7 dan Pb-210. Perbedaan penggunaan radioisotop tersebut adalah terkait dengan estimasi umur sedimen yang akan diukur. C-14 sering digunakan dalam penentuan umur geologi dengan waktu paruh 5730 ± 40 tahun, sehingga kurang akurat jika digunakan untuk menentukan umur sedimen muda [9]. Selanjutnya radioisotop Be-7 memiliki waktu paruh 53,3 hari [10] dan nilai ini terlalu singkat untuk mengukur umur dan laju akumulasi sedimen di wilayah yang diestimasi berumur dekadal. Radioisotop Be-7 biasa digunakan untuk menentukan umur dan laju pengendapan sedimen yang memiliki *residence time* yang singkat misalnya waktu partikel suspensi berada di kolom air. Pengukuran umur sedimen muda, misalnya kurang dari 150 tahun, dapat dilakukan menggunakan radioisotop Pb-210 [11]. Lubis, dkk. [12] menyebutkan bahwa radioisotop Pb-210, dengan karakteristik waktu paruh $22,23 \pm 0,12$ tahun, sangat sesuai digunakan untuk kajian perubahan struktur sedimen dan kejadian dalam periode dimana aktivitas antropogenik mulai memberi dampak pada lingkungan, termasuk di wilayah perairan Laut Jawa.

Radionuklida Pb-210 adalah salah satu anak luruh U-238, dan keberadaannya dalam sedimen berasal dari Ra-226 yang meluruh dan terbentuk gas Rn-222 yang terpancar ke udara hingga terbentuk Pb-210, kemudian turun ke permukaan dan di laut berikatan dengan partikel suspensi dan mengendap bersamaan membentuk

lapisan sedimen. Fraksi ini disebut Pb-210 *unsupported (excess)*, berkebalikan dengan fraksi Pb-210 *supported* yang terbentuk secara langsung melalui peluruhan Ra-226 yang terdapat dalam sedimen [11]. Distribusi Pb-210 dalam sedimen mencerminkan riwayat pengendapan, seperti profil pengendapan yang teratur, periode non-pengendapan atau erosi, pencampuran akibat bioturbasi [13], perubahan dalam laju pengendapan dan sumber sedimen [14].

Umur dan laju akumulasi sedimen dapat dianalisis dari aktivitas *unsupported* Pb-210 melalui beberapa pendekatan model, antara lain CF:CS (*Constant Flux: Constant Sediment*), CRS (*Constant Rate of Supply*), dan CIC (*Constant Initial Concentration*). Hal ini tergantung pada kondisi lingkungan dan proses sedimentasi (erosi, pengendapan). Jika proses erosi suatu wilayah cukup stabil dan mengakibatkan tingkat akumulasi sedimen konstan, maka model yang digunakan CF:CS [15]. Dalam beberapa kasus, laju erosi dan pengendapan telah mengalami perubahan dalam kurun waktu 150 tahun terakhir yang menyebabkan profil Pb-210 menjadi tidak linier terhadap kedalaman. Model CIC dan CRS merupakan model yang secara matematik cukup praktis digunakan untuk menghitung Pb-210 pada kondisi laju akumulasi dan pengendapan sedimen yang bervariasi [16], [17]. Model CIC didasarkan pada asumsi bahwa konsentrasi (aktivitas radioaktif) awal yang konstan dari *unsupported* Pb-210 pada contoh sedimen, kemudian berkurang eksponensial menurut kedalaman [17]. Model CRS merupakan model yang paling banyak digunakan, didasarkan pada asumsi: Pb-210 disuplai secara konstan pada sedimen sepanjang waktu, Pb-210 merupakan faktor tetap dari sedimentasi, dan suplai sedimen merupakan faktor tetap terhadap waktu, kemudian untuk dapat melakukannya, *unsupported* Pb-210 pada beberapa bagian kedalaman pada kolom sedimen harus dihitung [15], [17]. Pada penelitian ini digunakan model CRS untuk mengestimasi laju akumulasi sedimen karena adanya variasi aktivitas Pb-210 yang diperoleh.

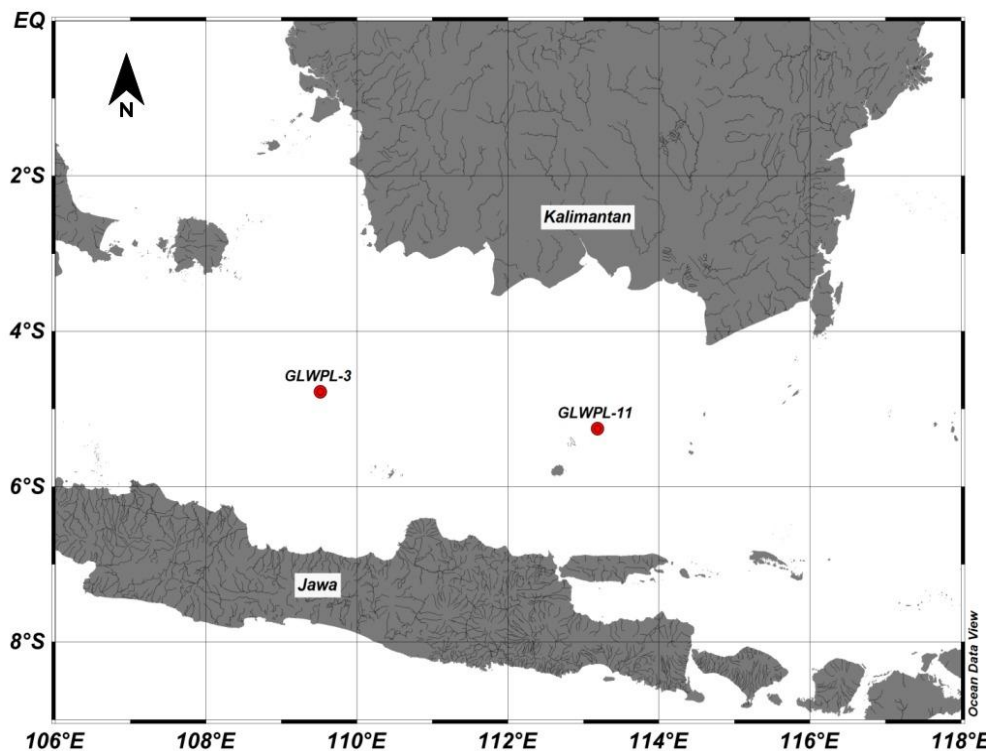
BAHAN DAN METODE

Pengambilan contoh

Penelitian laju akumulasi sedimen di perairan Laut Jawa dilakukan pada dua sedimen inti yaitu Stasiun GLWPL-3 sedalam 35 cm pada koordinat $109^{\circ}46'24.60''$ BT $-4^{\circ}40'44.41''$ LS

dan Stasiun GLWPL-11 sedalam 37 cm pada koordinat $112^{\circ}50'59.62$ BT $-5^{\circ}02'3.06''$ LS (Gambar 1). Sedimen inti berasal dari kegiatan Penelitian Lingkungan Geologi Kelautan Perairan Laut Jawa, Laut Sulawesi Selatan, hingga Laut Sawu dengan menggunakan kapal riset Geomarin 3, P3GL, Bandung pada bulan Agustus tahun 2015 [18]. Pemilihan kedua titik stasiun ini selain didasarkan pada masih sedikitnya kajian akumulasi sedimen di wilayah tengah Laut Jawa

dibandingkan wilayah pesisir, juga berkaitan dengan pengurangan pengaruh signifikan masukan material sedimen dari wilayah pesisir. Contoh sedimen inti dipotong dengan interval 2 cm (pada kisaran kedalaman 0-10 cm), 4 cm (kedalaman 10-22 cm) dan 6 cm (kedalaman >22 cm). Selanjutnya sedimen dikeringkan menggunakan oven pada suhu 104°C selama 24 jam dan dihaluskan menggunakan mortar.



Gambar 1. Lokasi pengambilan contoh sedimen menggunakan metode penginti gaya berat (*gravity core*) di Laut Jawa

Prosedur analisis

Aktivitas Pb-210 total ditentukan dari hasil pengukuran Po-210, yang merupakan salah satu anak luruh Pb-210. Metode destruksi yang digunakan sebelumnya telah diterapkan oleh Lubis [16], Gemilang, dkk. [19], Papatungan, dkk. [20] dan Erawan, dkk. [21]. Secara singkat, sebanyak 5 gram contoh sedimen yang telah kering dan homogen diambil dan didestruksi dengan penambahan larutan standar Po-209 sebagai perunut (*tracer*), asam klorida (HCl 1:1 dan 0.3 N), asam nitrat (HNO₃ 1:1), hidrogen peroksida (H₂O₂ 30%) dan bides (H₂O). Untuk membantu proses destruksi sedimen, campuran dipanaskan menggunakan pemanas air (*waterbath*) dengan suhu 80°C . Selanjutnya

larutan hasil destruksi diambil dan diencerkan 10 kali, ditambahkan asam askorbat dan diaduk dalam tabung (*tube*) yang telah ditempatkan plat tembaga untuk menangkap pengendapan Po-210 dan Po-209 menggunakan *stirrer*. Contoh tersebut dicacah dengan Spektrometer Alfa produksi Canberra dengan detektor PIPS (*Passivated Implanted Planar Silicon*) model A450-20AM, dengan area 450 mm^2 dan resolusi 20 keV dalam kondisi vakum. Proses tersebut mendapatkan aktivitas Po-210 yang merupakan anak luruh dari Pb-210. Pengukuran anak luruh ini didasarkan pada asumsi bahwa aktivitas Po-210 dan Pb-210 adalah setimbang [12], [22], [23]. Hasil pengukuran berupa aktivitas total Pb-210. Aktivitas lapisan bawah yang konstan ditetapkan sebagai nilai *supported* (Pb_s) dan diasumsikan

sebagai nilai alami dari aktivitas Pb-210. Selisih antara nilai total (Pb_t) dan *supported* disebut sebagai nilai *unsupported* (Pb_{us}) [24], yang merupakan sumbangan Pb-210 dari luar sistem (sedimen) (Persamaan 1). *Unsupported* Pb-210 digunakan untuk mengukur umur sedimen masing-masing lapisan [25].

$$Pb_{us} = Pb_t - Pb_s \text{ supported} \quad (1)$$

Penentuan umur sedimen dan laju akumulasi sedimen dilakukan menggunakan model CRS (*Constant Rates of Supply*), seperti yang dilakukan oleh Lubis [16], Bonotto dan Gaecia-Tenorio [15], Saint-Laurent, dkk. [26], Paputungan, dkk. [20], dan Aliyanta, dkk. [27]. Model ini mengasumsikan bahwa suplai Pb-210 *unsupported* konstan di setiap lapisan sedimen. Jika laju fluks sedimen berubah, maka fluks Pb-210 di sedimen akan berubah sesuai lajunya. Berdasarkan laju peluruhan dari Pb-210 dan perbedaan aktivitas antara potongan inti atas dan potongan inti bawah, maka umur setiap potongan sedimen dapat ditentukan. Model CRS dinyatakan dengan Persamaan 2:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

dimana A_0 adalah total Pb-210 *unsupported* dari kedalaman contoh inti (Bq/m^2), A sebagai Pb-210 *unsupported* pada sedimen lapisan tertentu (Bq/m^2), λ menunjukkan konstanta laju peluruhan Pb-210 (0,03114/th) dan t adalah umur (tahun), dimana umur sedimen (t) dan laju akumulasi (r) ditentukan dengan Persamaan 3;

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

dimana r adalah laju akumulasi ($kg/m^2/th$), C adalah konsentrasi *unsupported* Pb-210 pada kedalaman x (Bq/kg).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Total Pb-210 pada GLWPL-03 dan GLWPL-11 menunjukkan aktivitas lebih tinggi di lapisan sedimen yang relatif lebih muda (dekat permukaan) dan menurun di lapisan yang lebih tua pada kedalaman lebih dari 15 cm aktivitas Pb-210 yang relatif sama (Gambar 2). Nilai yang relatif konstan (*supported*) adalah masukan alami akibat peluruhan Ra-226 di sedimen. Aktivitas *supported* Pb-210 kedua titik pengamatan menunjukkan 10 Bq/kg untuk GLWPL-03 dan 8 Bq/kg untuk GLWPL-11. Kelebihan aktivitas Pb-

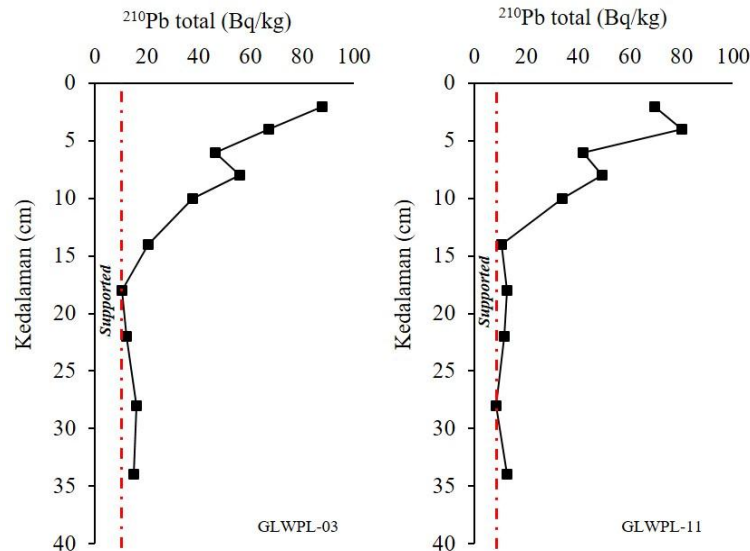
210 (*total-supported*) disebut sebagai aktivitas *unsupported* yang dianggap berasal dari masukan atmosfer [11]. Jika laju sedimentasi konstan dengan waktu selama 100-200 tahun terakhir untuk setiap sedimen inti, aktivitas *unsupported* dalam sedimen harus berkurang secara eksponensial dengan kedalaman kecuali di lapisan permukaan karena proses bioturbasi atau biasa disebut lapisan SML (*surface mixed layer*). Bioturbasi biasanya hanya mempengaruhi beberapa cm inti permukaan. Asumsi pengaruh aktivitas biologi dan pencampuran fisik (gangguan organisme benthik dan atau oleh gelombang dan arus) terbatas pada SML [4]. Pada penelitian ini tidak nampak adanya kedalaman bioturbasi kedua sedimen, kemungkinan karena sedimen berada di area lepas pantai (*offshore*). Adanya proses bioturbasi biasanya diindikasikan dengan nilai relatif konstan pada lapisan sedimen baru [1]. Hal ini berbeda dengan wilayah pesisir seperti di pesisir timur laut India [4], estimasi kedalaman SML adalah 0-5 cm. Contoh lain kedalaman SML di sedimen Teluk Jakarta 0-20 cm bahkan mencapai 0-55 cm [28]. Kedalaman SML biasanya berhubungan erat dengan besarnya flux bahan organik yang masuk ke dasar perairan sebagai bahan makanan organisme benthik [1].

Hasil analisis model CRS melalui pendekatan *unsupported* menunjukkan profil umur kedua sedimen inti yang hampir sama, namun sedimen di Laut Jawa bagian barat (GLWPL-03) berumur lebih tua dibandingkan bagian timur (GLWPL-11) (Gambar 3). Pada kedalaman maksimum yang dapat diukur, sedimen bagian barat berumur 126 tahun pada kedalaman kurang dari 15 cm, sedangkan sedimen bagian timur berumur 128 tahun pada kedalaman sekitar 20 cm. Hal tersebut menjadi indikasi awal lebih rendah atau lambatnya masukan sedimen di bagian barat dibandingkan bagian timur. Pada kedalaman 0-10 cm, baik untuk sedimen bagian barat maupun bagian timur, selisih umur sedimen mencapai 100 tahun. Selanjutnya pada kedalaman 10-20 cm, selisih umur sedimen hanya mencapai 27 tahun pada bagian timur (pada sedimen bagian barat belum dapat diukur). Hal tersebut menunjukkan masukan sedimen lebih lambat pada lapisan atas, dibandingkan sedimen yang lebih tua di lapisan bawah.

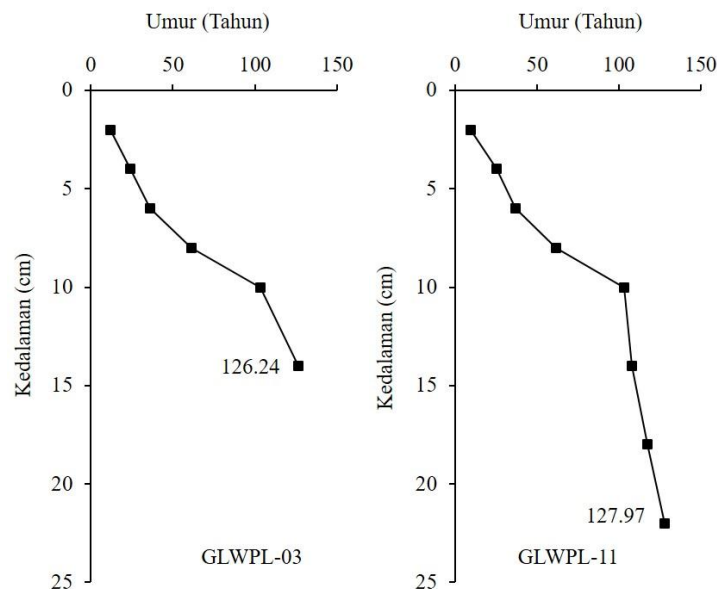
Secara geografis, kondisi umur sedimen di bagian tengah Laut Jawa ini sangat berbeda dengan umur sedimen di wilayah pesisir. Sebagai

contoh, umur sedimen di pesisir utara Jawa, Muara Gembong, dimana pada kedalaman sedimen inti 37-53 cm berumur 51,74-67,22 tahun [27]. Contoh lain pengukuran di pesisir Brebes [19] pada kedalaman 25-30 cm sedimen berumur 95 tahun. Pada kedalaman lapisan

sedimen yang sama, diperoleh umur sedimen lebih muda di wilayah pesisir dan lebih tua di wilayah lepas pantai. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan transpor sedimen antara wilayah titik penelitian dan pesisir laut Jawa, tepatnya pesisir bagian utara pulau Jawa.



Gambar 2. Profil aktivitas Pb-210 total (garis hitam kotak) dan *supported* (garis putus merah) terhadap kedalaman sedimen inti GLWPL-03 dan GLWPL-11 di perairan Laut Jawa



Gambar 3. Umur lapisan sedimen inti GLWPL-03 dan GLWPL-11 di perairan Laut Jawa

Secara umum, sumber yang paling penting terkait suplai sedimen halus dan terakumulasi di wilayah paparan benua adalah masukan dari sungai [29]. Hal ini seperti terjadi pada wilayah kajian ini menjadi salah satu sumber disebabkan banyaknya sungai-sungai yang bermuara di Laut Jawa. Namun, peningkatan aktivitas antropogenik

pada abad terakhir, dan beberapa contoh yang berpotensi seperti penambangan timah di dan lepas pantai, pembangunan resor wisata, deforestasi, pertanian dan urbanisasi, semua menyebabkan peningkatan debit sungai karena terjadinya peningkatan paparan untuk pelapukan dan erosi sedimen berukuran halus [30]. Aliran

sungai akan mengendapkan sedimen berukuran relatif kasar di mulut sungai dan sedimen berukuran halus di perairan lepas pantai. Proses ini menyebabkan akan lebih tingginya akumulasi sedimen di wilayah pesisir.

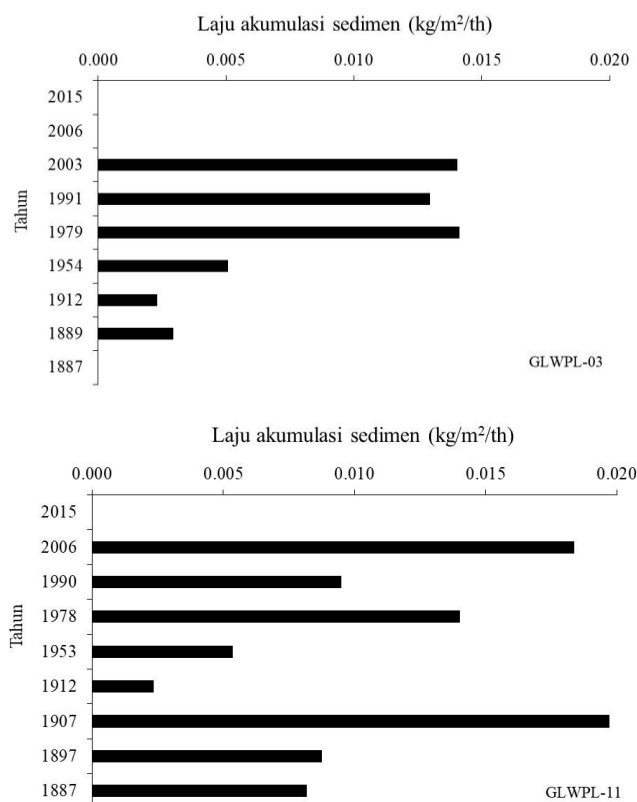
Laju deposisi sedimen perairan Laut Jawa, dalam *Mass Accumulation Rate* (MAR), berkisar antara 0,002-0,020 kg/m²/th (Gambar 4). MAR di stasiun bagian barat (GLWPL-03) lebih rendah dibandingkan stasiun bagian timur (GLWPL-11) dengan selisih laju maksimum sebesar 0,006 kg/m²/th, dan selisih laju rata-rata sebesar 0,002 kg/m²/th. Hal ini sejalan dengan umur sedimen yang lebih tua di bagian barat (Gambar 3).

Laju akumulasi sedimen mengalami peningkatan mulai tahun 1970. Penelitian Lubis, dkk. [12] di Teluk Jakarta menunjukkan perbedaan laju akumulasi sedimen antara sebelum dan sesudah tahun 1970. Adi, dkk. [6] juga menyebutkan adanya perubahan besar tata guna lahan di wilayah Jawa Timur mulai tahun 1970 menyebabkan peningkatan laju erosi dan sedimentasi di pesisir utara Jawa Timur.

Profil laju akumulasi sedimen yang lebih lengkap di bagian timur (GLWPL-11) menunjukkan adanya perubahan yang cukup besar antara tahun 1907 menuju tahun 1912

hingga saat ini. Terdapat laju akumulasi yang tinggi pada pada tahun 1907 dan mengalami penurunan secara drastis pada tahun 1912, selanjutnya laju akumulasi mengalami kenaikan namun cenderung lambat. Karakteristik ini sejalan dengan karakteristik profil umur sedimen (Gambar 3) yang menunjukkan adanya perlambatan masukan sedimen ke perairan sehingga diperoleh rentang umur yang lebih lama (100 tahun) pada kedalaman 0-10 cm dibandingkan kedalaman 10-20 cm yang berumur 27 tahun.

Nilai laju akumulasi yang diperoleh berbeda dengan laju akumulasi sedimen di wilayah pesisir. Penelitian Lubis dan Aliyanta [31] dengan kedalaman sedimen inti 22 cm di pesisir Teluk Jakarta menunjukkan laju akumulasi sedimen antara 0,28-1,71 kg/m²/th. Perbedaan laju akumulasi ini mencerminkan besarnya pengaruh masukan sungai yang membawa material di wilayah pesisir dibandingkan di tengah perairan. Contoh lain laju akumulasi sedimen di pesisir perairan tererosi, Desa Bedono Demak, pada musim barat mencapai 296,927-1828 kg/m²/th [32].



Gambar 4. Laju deposisi sedimen inti GLWPL-03 dan GLWPL-11 di perairan Laut Jawa

KESIMPULAN

Aktivitas total Pb-210 pada area titik stasiun (bagian tengah Laut Jawa) menunjukkan lebih tinggi di lapisan sedimen yang relatif lebih muda (dekat permukaan) dan menurun pada lapisan yang lebih tua dan pada kedalaman lebih 15 cm aktivitas Pb-210 yang relatif konstan. Secara geografis, laju akumulasi sedimen di perairan tengah Laut Jawa bagian timur lebih tinggi dibandingkan bagian barat, dengan umur yang lebih muda pada bagian timur dan lebih tua pada bagian barat. Selain itu, berdasarkan perbandingan dengan beberapa referensi penelitian di wilayah pesisir menunjukkan akumulasi sedimen yang lebih rendah di wilayah kajian (bagian tengah Laut Jawa) dibandingkan akumulasi sedimen di wilayah pesisir. Selanjutnya berdasarkan waktu dan kedalaman, mulai dari kedalaman 10 cm sampai permukaan atau sejak tahun 1912 hingga sekarang profil akumulasi sedimen menunjukkan kenaikan, namun nilai tersebut masih lebih lambat dibandingkan laju akumulasi sedimen pada kedalaman >10 cm atau sebelum tahun 1912.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP RI) Kementerian Keuangan yang telah memberikan beasiswa pendidikan dan pendanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Kepala P3GL yang telah mengizinkan penggunaan sampel sedimen, kepada kapten dan kru Kapal Geomarin 3, juga kepada tim survei "Penelitian Lingkungan Geologi Kelautan Perairan Laut Jawa, Laut Sulawesi Selatan, hingga Laut Sawu dengan Menggunakan Kapal Riset Geomarin 3" MAJAFLOX 2015. Terima kasih juga diungkapkan kepada jajaran dosen dan rekan-rekan di Laboratorium Oseanografi ITK-IPB, teman-teman IKL-IPB 2016, serta staf dan teman-teman Laboratorium Kelautan PAIR-BATAN, Pasar Jum'at, atas bantuan dan dukungannya hingga terwujudnya karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Huneke, T. Mulder, "Deep-Sea Sediments", p. 851. Oxford: Elsevier UK, 2011.
- [2] G. Zao, X. Mu, Z. Wen, dkk., "Soil Erosion Conservation, and Eco-Environment

Changes in The Loess Plateau of China," *Land Degrad. & Dev.*, vol. 24, pp. 499-510, 2013.

- [3] F. Sidik, D. Neil, and C. E. Lovelock, "Effect of High Sedimentation Rates on Surface Sediment Dynamics and Mangrove Growth in The Porong River, Indonesia," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 107, no. 1, pp. 355-363, 2016.
- [4] K. Banerjee, B. Senthilkumar, R. Purvaja, R. Ramesh, "Sedimentation and Trace Metal Distribution in Selected Locations of Sundarbans Mangroves and Hooghly Estuary, Northeast Coast of India," *Environ. Geochem. Health*, vol. 34, pp. 27-42, 2012.
- [5] R. Schumer, and D. J. Jerolmack, "Real and Apparent Changes in Sediment Deposition Rates Through Time," *J. Geophys. Res.*, vol. 114, pp. 1-12, 2009.
- [6] S. Adi, I. Janen, T. C. Jennerjahn, "History of Development and Attendant Environmental Changes in The Brantas River Basin, Java, Indonesia," *Asian J. Water Environ. Pollut.*, vol. 10, no. 1, pp. 5-15, 2013.
- [7] S.I. Wahyudi, M.F. Ni'am, D.L. Bras, "Problems, Causes and Handling Analysis of Tidal Flood, Erosion and Sedimentation in Northern Coast of Central Java: Review and Recommendation," *IJCEE-IJENS*, vol. 12, no. 4, pp. 65-69, 2012.
- [8] Z. Arifin, R. Puspitasari, N. Miyazaki, "Heavy Metal Contamination in Indonesian Coastal Marine Ecosystems: A Historical Perspective," *Coastal Mar. Sci.*, vol. 35, no. 1, pp. 227-233, 2012.
- [9] M. Baskaran, T.S. Bianchi, T. R. Filley, "Inconsistencies Between ^{14}C and Short-Lived Radionuclides-Based Sediment Accumulation Rates: Effects of Long-Term Remineralization," *J. Environ. Radioact.*, vol. 174, pp. 10-16, 2017.
- [10] C. Duenas, J.A.G. Orza, M. Cabello, dkk., "Air Mass Origin and Its Influence on Radionuclide Activities (Be-7 and Pb-210)

- in Aerosol Particles At A Coastal Site in The Western Meiterranean,” *Atmos. Res.*, vol. 101, pp. 205-214, 2011.
- [11] E. Saulnier-Talbot, R. Pienitz, and T. W. Jr. Stafford, “Establishing Holocene Sediment Core Chronologies for Northern Ungava Lakes, Canada, Using Humic Acids (AMS C-14) and Pb-210,” *Quat. Geochronol.*, vol. 4, pp. 278-287, 2009.
- [12] A. A. Lubis, B. Aliyanta, and Y. Menry, “Estimation of Sediment Accumulation Rate in Jakarta Bay Using Natural Radionuclida Unsupported Pb-210,” *Indo. J. Chem.*, vol. 7, pp. 309-313, 2007.
- [13] J.M. Abril, and G. J. Brunskill, “Evidence That Excess Pb-210 Flux Varies with Sediment Accumulation Rate and Implications for Dating Recent Sediments,” *J. Paleolimnol.*, vol. 52, pp. 121-137, 2014.
- [14] J.M. Abril, F. Gharbi, “Radiometric Dating of Recent Sediments: Beyond The Boundary Conditions,” *J. Paleolimnol.*, vol. 48, no. 2, pp. 449-460, 2012.
- [15] D.M. Bonotto, R. Garcia-Tenorio, “A Comparative Evaluation of The CF:CS and CRS Models in Pb-210 Chronological Studies Applied to Hydrographic Basins in Brazil,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 92, pp. 58-72, 2014.
- [16] A.A. Lubis, “Constant Rate of Supply (CRS) Model for Determining The Sediment Accumulation Rate in The Coastal Area Using Pb-210,” *Coast. Develop.*, vol. 10, no. 1, pp. 9-12, 2006.
- [17] G. Kirchner, “Pb-210 as A Tool Or Establishing Sediment Chronologies: Examples of Potentials and Limitations of Conventional Dating Models,” *J. Environ. Radioact.*, vol. 102, pp. 490-494, 2011.
- [18] R. Zuraida, K. Budiono, F.B. Prasetyo, dkk., “Penelitian Lingkungan Geologi Perairan Laut Jawa, Laut Sulawesi Selatan, hingga Sawu dengan Menggunakan Kapal Riset Geomarin 3”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan. Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumberdaya Mineral, 2015.
- [19] W.A. Gemilang, G. Kusumah, U.J. Wisna, dkk., “Laju Sedimentasi di Perairan Brebes, Jawa Tengah Menggunakan Metode Isotop Pb-210,” *J. Geol. Kel.*, vol. 15, no. 1, pp. 15-22, 2017.
- [20] M.S. Paputungan, A.F. Koropitan, T. Prariono, dkk., “Profil Akumulasi Sedimen di Area Restorasi Mangrove, Teluk Lembar Pulau Lombok,” *ITKT*, vol. 9, no. 1, pp. 301-313, 2017.
- [21] M.T.F. Erawan, T. Prariono, A. Arman, “Characteristics of Sediments Deposition in Karimata Strait,” *Ilmu Kel.*, vol. 23, no. 2, pp. 93-98, 2018.
- [22] Z.A. Bakar, A. Saat, Z. Hamzah, dkk., “Sedimentation Rate and Chronology of as and Zn in Sediment of A Recent Former Tin Mining Lake Estimated Using Pb-210 Dating Technique,” *Malay J. Anal. Sci.*, vol. 15, no. 2, pp. 150-158, 2011.
- [23] I. Sert, G. Yener, E. Ozel, dkk., “Estimation of Sediment Accumulation Rates Using Naturally Occuring Pb-210 Models in Gulbahce Bay, Aegean Sea, Turkey,” *J. Environ. Radioact.*, vol. 107, pp. 1-12, 2012.
- [24] D. Cossa, R. Buscail, P. Puig, dkk., “Origin and Accumulation of Trace Elements in Sediments of The Northwestern Mediterranean Margin,” *Chem. Geol.*, vol. 380, pp. 61-73, 2014.
- [25] A. Szmytkiewicz, T. Zalewska, “Sediment Deposition and Accumulation Rates Determined by Sediment Trap and Pb-210 Isotope Methods in The Outer Puck Bay (Baltic Sea),” *Oceanologia*, vol. 56, no. 1, pp. 1-22, 2014.
- [26] D. Saint-Laurent, J. St-Laurent, M. Hahni, B. Ghaleb, and C. Chapados, “Using Lead Concentrations and Stable Lead Isotope Ratios to Identify Contamination Events in Alluvial Soils,” *Appl. Environ. Soil. sci.*, vol. 2010, pp. 1-12, 2010.

-
- [27] B. Aliyanta, A. Khairina, A. Kartikasari, and A.A. Lubis, "Estimasi Laju Deposisi Sedimen di Muara Gembong Sungai Citarum, *JAIR*, vol. 14, no. 1, pp. 11-20, 2018.
- [28] T. Hosono, S. Chih-Chieh, R. Delinom, dkk., "Decline in Heavy Metal Contamination in Marine Sediments in Jakarta Bay, Indonesia Due to Increasing Environmental Regulations," *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, vol. 92, no. 2, pp. 297-306, 2011.
- [29] J.D. Milliman, K.L. Farnsworth, "*River Discharge to the Coastal Ocean*", pp. 13-69, Cambridge University Press: New York US, 2011.
- [30] D. Sakuna-Schwartz, P. Feldens, K. Schwarzer, dkk., "Internal Structure of Event Layer Preserved on The Andaman Sea Continental Shelf, Thailand: Tsunami Vs. Storm and Flash-Flood Deposits," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 15, pp. 1181-1199, 2015.
- [31] A.A. Lubis, B. Aliyanta, "Preliminary Study of Sediment Ages and Accumulation Rates in Jakarta Bay Derived from Depth Profiles of *Unsupported Pb-210*," *Indo. J. Chem.*, vol. 6, no. 3, pp. 256-260, 2006.
- [32] L. Febriyanti, P.W. Purnomo, C. A'in, "Karakteristik Oseanografi dan Sedimentasi di Perairan Tererosi Desa Bedono, Demak Pada Musim Barat," *J. Maquares*, vol. 6, no. 4, pp. 367-37, 2017.

