

Melacak Perubahan Muka Laut Masa Lampau Berdasar Fosil Kerang-kerangan (*Ostrea sp.*) di Pulau Belitung

Suyarso

Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jl. Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta 11048
Telp. (021)7317830, email: Suyarso_lipi@yahoo.com

Abstrak

Daratan di sekeliling Laut Cina Selatan merupakan wilayah yang sejak jaman kuartar tidak pernah mengalami gerak-gerak tektonik. Proses-proses geologi yang terjadi adalah transgresi dan regresi yang silih berganti, erosi pantai, akresi pantai, sedimentasi dan pembentukan morfologi pantai. Situs-situs peninggalan proses laut di masa lampau yang banyak dijumpai diantaranya pematang pantai purba serta fosil sisa-sisa kehidupan laut seperti *Ostrea sp.* dan lain sebagainya. Situs-situs tersebut umumnya terletak pada ketinggian 1,5 m hingga 2,5 m di atas muka laut sekarang. Penelitian yang telah dilakukan pada April 2010 di Pulau Belitung adalah mengukur kedudukan situs-situs fosil *Ostrea sp.* terhadap muka laut sekarang menggunakan peralatan geodetik dan determinasi umurnya menggunakan radio isotop ^{14}C . Data kedudukan fosil terhadap muka laut sekarang dan data umur fosil tersebut selanjutnya dipergunakan untuk merekonstruksi perubahan muka laut dimasa lampau. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa sejak 5000 tahun sebelum sekarang telah terjadi dua kali transgresi. Transgresi pertama terjadi pada sekitar 4460 an tahun sebelum sekarang, muka lautnya berada pada ketinggian 2,50 m diatas muka laut sekarang. Transgresi kedua terjadi pada 2611 an tahun sebelum sekarang, muka lautnya berada pada ketinggian 2,0 m di atas muka laut sekarang.

Kata kunci: *Ostrea sp.*, muka laut masa lampau.

Abstract

Lands in the surrounding of the South China Sea are stable areas and have never been displaced due to tectonic movement since the quaternary sub-era. Geological processes are the changes of transgression and regression, coastal erosion, accretion, sedimentation and coastal morphological features building. Monuments of the marine processes in the past are ancient beach ridge, relicts of marine life such as *Ostrea sp.* fossils, etc. These monuments are located 1.5 m – 2.5 m height above the present sea level. Research was carried out in April 2010 at Belitung Island, the main activities are to measure the position of *Ostrea sp.* fossils sites relatives to the sea level with using geodetic instrument and dating of the fossils with using ^{14}C radio isotope. Plot of the fossils position relatives to the present sea level versus ages of fossils then be used to reconstruct the change of the sea level in the past. Research result shows since 5000 years before present there were twice transgression. First transgression occurred in 4460's years before present which sea level was 2.50 m height above the present sea level. Second transgression occurred in 2611's years before present and the sea level was 2.0 m height above the present sea level.

Key words: *Ostrea sp.*, ancient sea level.

Pendahuluan

Telah diketahui bahwa 6000 tahun lalu muka laut di dunia pernah berada pada ketinggian 4 hingga 5 m di atas muka laut sekarang (Tjia 1996, Horton *et al.* 2005, Tornqvist *et al.* 2004, Yokoyama *et al.* 2001 dan Peltier 2002). Muka laut tersebut kemudian berangsur-angsur menyusut hingga mencapai pada kedudukannya yang sekarang.

Penelitian muka laut masa lampau (muka

laut purba) di Asia Tenggara telah dilakukan oleh Tjia (1996) di kawasan Malaya Peninsula dan Thailand serta Horton *et al.* (2005) di Thailand. Tjia (1996) mengemukakan hasil penelitiannya berdasar indikator morfologi pantai, rataan karang purba, cangkang kerang-kerangan dan fosil mangrove, mengungkapkan bahwa pada kurun 6, 4 dan 2,7 ribu tahun BP (*Before Present*) muka laut berada di atas muka laut sekarang walau dalam kisaran pendek. Demikian pula Horton *et al.* (2005) yang mendasarkan penelitiannya pada *pollen* mangrove mengemukakan bahwa pada kurun

6, 4 dan 2,7 ribu tahun BP (*Before Present*) muka laut berada di atas muka laut sekarang walau dalam kisaran pendek. Demikian pula Horton *et al.* (2005) yang mendasarkan penelitiannya pada *pollen* mangrove mengemukakan bahwa pada kurun 10 hingga 6 ribu tahun BP terjadi peningkatan muka laut dari -15 hingga +4 m terhadap muka laut sekarang dan sejak 6 ribu tahun BP muka laut terus menurun hingga sekarang. Di belahan Amerika, penelitian dilakukan oleh Tornqvist *et al.* (2004) di delta Sungai Mississippi mengungkapkan bahwa pada kurun 6 hingga 4 ribu tahun BP muka laut terus meningkat dan pernah mencapai hingga 2 m di atas muka laut sekarang. Dari Australia, Yokoyama *et al.* (2001) meneliti perubahan muka laut purba di Teluk Joseph Bonaparte, Teluk Carpentaria, Great Barrier Reef dan pantai Sydney. Hasil penelitiannya mengemukakan bahwa pada kurun 7 hingga 4 ribu tahun BP muka laut berada di atas muka laut sekarang. Peltier (2002) menganalisis sample dari Papua New Guinea (PNG), Barbados (Venezuela) dan Tahiti mengungkapkan bahwa sejak 8 ribu tahun BP tempat-tempat tersebut berada di atas muka laut sekarang. Kurva muka laut hasil penelitian di berbagai belahan dunia oleh para peneliti disajikan pada Gambar 1.

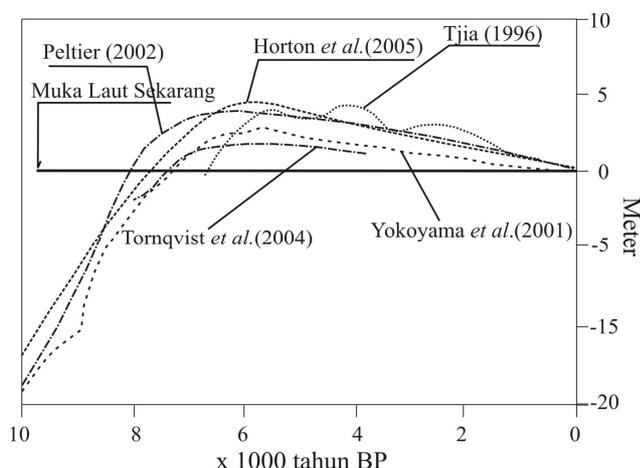
Bemmelen (1949) dan Tjia (1996) mengemukakan bahwa daratan di kawasan Laut Cina Selatan yang juga meliputi Pulau Bangka dan Pulau Belitung merupakan kawasan yang sejak jaman kuarter (2,6 juta tahun lampau) sudah tidak pernah mengalami gerak-gerak tektonik, yakni gerak naik / turun daratan relatif terhadap muka laut mencakup wilayah yang luas. Kondisi tersebut berbeda dengan kawasan pulau-pulau yang terletak di bagian barat Pulau Sumatera, disana gerak-gerak tektonik seperti gempa yang disertai pengangkatan / penurunan daratan masih saja terus berlangsung hingga saat ini (Suyarso 2007, 2008).

Sisa-sisa muka laut purba di Indonesia bagian barat khususnya di sekeliling Laut Cina Selatan yang telah dikatakan lebih tinggi terhadap muka laut sekarang telah banyak meninggalkan beberapa situs. Situs-situs tersebut merupakan peninggalan proses laut terhadap daratan dimasa lampau, diantaranya pematang pantai purba yang banyak dijumpai di Pulau Natuna (Suyarso 2009) serta fosil kerang-kerangan *Ostrea sp.* *Ostrea sp.* merupakan hewan laut dari marga kerang-kerangan (Moluska), banyak dijumpai di perairan pantai di daerah tropis. Di lingkungan pelabuhan, hewan ini umumnya menempel di dinding atau tiang-tiang penyangga dermaga pada muka laut rata-rata (*mean sea level*).

Beberapa tempat di Pulau Belitung dijumpai fosil *Ostrea sp.* yang menempel pada dinding-dinding batu granit dengan ketinggian 1,5–2,5 m di atas muka laut sekarang. Hadirnya situs-situs fosil *Ostrea sp.* yang belum berubah dari posisi / lokasi hidupnya dimasa lampau (*insitu*) dapat dipergunakan sebagai indikator yang menggambarkan posisi muka laut relatif pada saat hewan laut tersebut hidup. Penelitian yang telah dilakukan pada April 2010 bertujuan menganalisis perubahan muka laut di masa lampau berdasar fosil *Ostrea sp.* yang tersebar di Pulau Belitung, Propinsi Bangka Belitung.

Materi dan Metode

Penelitian dilakukan di Pulau Belitung meliputi tiga lokasi, yakni Tanjung Tinggi, Tanjung Burung Mandi dan Manggar pada 6 - 11 April 2010 (Tabel 1 dan Gambar 2). Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian di lapangan adalah alat ukur sifat datar (*levelling*) Sokhiza tipe B2C, rambu ukur (*rods / staffs*), GPS (*Global Positioning System*), palu geologi, rol meter, lensa pembesar (*loupe*) dan tabel prediksi



Gambar 1. Perubahan muka laut yang terjadi sejak 10 ribu tahun lampau dari para peneliti terdahulu.

pasang-surut Pelabuhan Tanjungpandan 2010 (Dishidros-TNIAL, 2010).

Pengukuran beda tinggi antara titik-titik sasaran, yakni situs-situs fosil *Ostrea sp.* yang menempel di dinding batu terhadap muka laut pada saat pengukuran dilakukan berdasarkan metode geodetik, menggunakan alat ukur sifat datar, rambu ukur dan rol meter. Tujuan penggunaan alat ukur sifat datar adalah untuk mengetahui beda tinggi situs-situs fosil terhadap muka laut sekarang. Penentuan posisi geografi lokasi pengukuran diukur dengan GPS (*Global Positioning System*) GARMIN 76 XL berakurasi 10 m. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan palu geologi dengan memilih pada sampel yang masih keras (belum lapuk) dan dipilih secara acak. Setiap sampel berukuran sebesar kepalan tangan dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label, yang selanjutnya akan ditentukan umur pembentukannya. Data pasang-surut diperoleh dengan cara manual, yakni memasang rambu ukur yang diikatkan pada dermaga dan mencatat perubahan gerak pasang-surut setiap jam. Kendatipun demikian, tabel prediksi pasang-surut yang dikeluarkan oleh DISHIDROS-TNIAL di perairan Tanjungpandan tahun 2010 juga dipergunakan sebagai pemandu di lapangan. Penghitungan muka laut rata-rata (MLR) dilakukan menggunakan filter X_0 atau lasim disebut filter Doodson, yakni suatu metode penghitungan muka laut rata-rata dalam pengamatan berdurasi pendek (39 jam). Penggunaan filter tersebut dimaksudkan untuk menghilangkan energi pada pasang-surut diurnal dan pasang-surut berfrekuensi tinggi (IOC-Unesco 1985, Pugh 1987 dan Suyarso 1989). Filter yang akan dipergunakan didefinisikan: $1 > t > 19$:-

$F(t) = (2, 1, 1, 2, 0, 1, 1, 0, 2, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1)$. Karena filter tersebut adalah filter simetri, sehingga, $F(t) = F(-t)$. Muka laut rata-rata dihitung berdasar persamaan:

$$X_T = 1/30 * \sum_{d=-19}^{d=19} F(d) H(T+d), d \neq 0$$

$H(t)$: tinggi muka laut yang tercatat tiap jam dan T adalah 12 jam.

Proses penentuan umur fosil menggunakan radio isotop ^{14}C dilakukan dengan metode serapan, yakni mencacah ^{14}C dalam bentuk senyawa CO_2 atau CH_4 menggunakan alat pencacah gas. Metode tersebut telah diperkenalkan oleh Aravena *et al.* (1989) dan dikembangkan oleh Nair *et al.* 1995. Metode serapan CO_2 sering disebut juga metode *direct counting* $^{14}CO_2$, karena aktifitas sampel ^{14}C

dalam CO_2 langsung dicacah dan kemudian dikonversi menjadi umur dalam satuan tahun kalender. Radioisotop ^{14}C yang terkandung dalam $^{14}CO_2$ dicacah pada pencacah sentilasi cair selama 20 menit dengan 50 kali pengulangan atau 1000 menit. Lamanya pencacahan dapat diubah bila diperlukan. Hasil pencacahan sampel selanjutnya dihitung melalui persamaan:

$$\text{Cacahan total sampel rata-rata (cpm)} = C_{s+b} \pm \sigma A_{s+b}$$

Cacahan bersih sampel dihitung dengan persamaan:

$$A_s \pm \sigma A_s = (C_{s+b} - B) / carb \pm \sqrt{[(\sigma C_{s+b})^2 + (\sigma B)^2] / carb}$$

$carb$ = karbon yang terabsorpsi dalam 21 ml larutan S/C (gram).

Selanjutnya penghitungan umur ditentukan berdasar persamaan:

$$\text{Umur (tahun)} = 8267 \ln (A_{ON} / A_{SN})$$

A_{ON} = aktivitas standar ternormalisasi

A_{SN} = aktivitas sampel ternormalisasi

Berdasarkan perhitungan konvensional, aktivitas awal $R_i = 100$ pmC. Umumnya perhitungan konvensional digunakan untuk menentukan umur seperti fosil, kayu, batubara, kerang, koral dan sedimen. Penggunaan metode serapan berdasar radio isotop ^{14}C dapat menentukan umur hingga 33000 tahun kalender. Kegiatan analisis penentuan umur fosil *Ostrea sp.* dilakukan oleh staf peneliti dan teknisi Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN).

Penggambaran data kedudukan/ketinggian situs fosil terhadap muka laut rata-rata sekarang (sebagai sumbu y) terhadap umur fosil (sebagai sumbu x) dalam suatu grafik, perubahan muka laut secara kronologis di masa lampau dapat diketahui.

Hasil dan Pembahasan

Keberadaan situs

Pulau Belitung, seperti halnya pulau-pulau di sekeliling Laut Cina Selatan umumnya berbatuan dasar granit dan granodiorit (Bemmelen 1949). Mineral penyusun utama batuan granit terdiri atas kuarsa dan feldspar, sehingga batuan tersebut mempunyai sifat sangat resisten terhadap proses-proses pelapukan.

Lingkungan pantai Pulau Belitung banyak dijumpai tonjolan-tonjolan granit dan granodiorit sehingga pada beberapa tempat membentuk morfologi pantai yang relatif curam. Adanya struktur retakan /

Tabel 1. Lokasi pengukuran dan pengambilan sampel fosil kerang-kerangan (*Ostrea sp.*) di Pulau Belitung.

Sampel	Lokasi	Koordinat geografi (derajat, desimal)	Kecamatan / Kabupaten
1	Tanjung Tinggi	108,71466°E;2,55123°S	Sijuk/ Belitung
2	Manggar	108,28765°E;2,88441°S	Manggar/ Belitung Timur
3A	Tanjung Burung Mandi	108,28765°E;2,75435°S	Manggar/ Belitung Timur
3B	Tanjung Burung Mandi	108,28765°E;2,75435°S	Manggar/ Belitung Timur



Gambar 2. Lokasi pengukuran dan pengambilan sampel fosil kerang-kerangan (*Ostrea sp.*) di Pulau Belitung.

kekar (*columnar joint*) pada batuan granit, beberapa bagian akan roboh. Pada bagian-bagian yang telah roboh tersebut sangat berpotensi pembentukan bentang alam menyerupai gua-gua di lingkungan pantai. Di lingkungan yang menyerupai gua tersebut umumnya situs fosil *Ostrea sp.* banyak ditemukan dalam kondisi yang masih utuh (*insitu*). Dua faktor yang memungkinkan fosil-fosil tersebut ditemukan dalam keadaan utuh di lingkungan batuan granit. Pertama, fosil yang menempel pada dinding granit yang menyerupai gua akan terlindung dari air hujan dan terik matahari, karena air hujan dan terik matahari sangat berpotensi melarutkan, melapukkan dan bahkan memusnahkan fosil. Kedua, adanya larutan silikat yang berasal dari mineral kuarsa yang kemudian melapisi cangkang-cangkang fosil. Dugaan demikian ditunjukkan adanya situs fosil yang

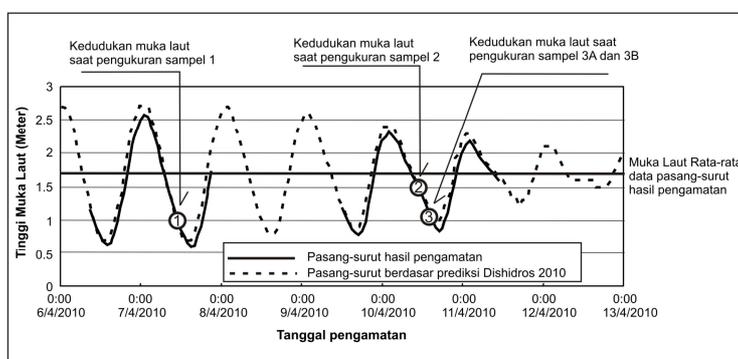
ditemukan di daerah terbuka, yakni di Manggar (Gambar 3). Lapisan silikat merupakan bahan yang cukup resisten dalam melindungi cangkang fosil terhadap proses pelapukan.

Analisis data pasang-surut dan penghitungan muka laut rata-rata

Data pasang-surut yang diperoleh berinterval 1 jam dalam penelitian terdiri atas 2 segmen. Segmen pertama merupakan data perubahan muka laut pada jam 09:00 6 April 2010 hingga jam 21:00 7 April 2010 (37 data), segmen kedua merupakan data perubahan muka laut pada jam 12:00 9 April 2010 hingga jam 06:00 11 April 2010 (43 data). Penghitungan muka laut rata-rata (MLR) data pasang-surut yang relatif pendek (minimum 39 jam) dapat dihitung menggunakan filter



Gambar 3. Fosil kerang-kerangan (*Ostrea sp.*) yang masih menempel pada dinding batu dan tak tersentuh lagi oleh air pada saat pasang di daerah Manggar.



Gambar 4. Pasang-surut hasil pengamatan dan kedudukan muka laut saat pengukuran sampel, pasang-surut prediksi Dishidros 2010 dan muka laut rata-rata hasil penghitungan menggunakan filter Xo.

Xo sehingga data yang memenuhi persyaratan untuk dihitung muka laut rata-ratanya adalah data pasang-surut pada segmen yang kedua. Berdasar perhitungan tersebut nilai MLR pada data pasang-surut hasil pengamatan adalah 1,7099 (Gambar 4).

Kedudukan dan penentuan umur fosil

Berdasarkan analisis menggunakan isotop ¹⁴C pada 4 sampel fosil *Ostrea sp.* yang ditemukan pada 3 lokasi di Pulau Belitung diketahui bahwa umur relatif berkisar antara 2.611–4.882 tahun, artinya bahwa hewan-hewan tersebut hidup pada kurun 4.882 hingga 2.611 tahun BP. Pengukuran kedudukan fosil-fosil tersebut terhadap muka laut rata-rata sekarang berkisar antara 1,40–2,57 m. Hasil penentuan umur dan pengukuran kedudukan masing-masing sampel fosil terhadap muka laut rata-rata sekarang disajikan pada Tabel 2 di bawah.

Kedudukan situs fosil tertinggi terhadap muka laut rata-rata sekarang ditemukan di Tanjung

sedangkan kedudukan situs fosil terendah (1,40 m) di atas muka laut sekarang berumur 4.145±300 tahun, ditemukan di Tanjung Burung Mandi. Situs fosil termuda (2661±250 tahun) ditemukan di Manggar pada ketinggian 1,90 m di atas muka laut sekarang.

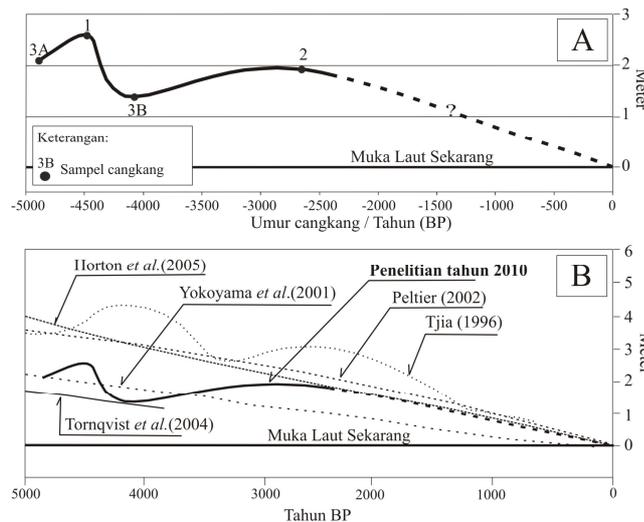
Rekonstruksi muka laut masa lampau

Berdasar pada data umur fosil dan data kedudukan fosil terhadap muka laut saat penelitian dilakukan seperti disebut di atas, perubahan muka laut dapat direkonstruksikan dengan merunut keberadaannya dari yang berumur tertua ke saat sekarang seperti tersaji pada Gambar 5(A).

Pada gambar tersebut terlihat bahwa antara sampel 3A berumur 4.883±350 tahun berkedudukan 2,09 m di atas muka laut sekarang dan sampel 1 berumur 4.463±350 tahun dan berkedudukan 2,57 m di atas muka laut sekarang. Data tersebut menunjukkan bahwa kurun 4.883 tahun BP hingga 4.463 tahun BP telah terjadi peningkatan muka laut (transgresi) sebesar 0,48 m dalam rentang waktu 420

Tabel 2. Hasil analisis penentuan umur fosil dan hasil pengukuran kedudukannya terhadap muka laut rata-rata sekarang di Pulau Belitung.

Sampel	Lokasi	Umur (tahun)	Kedudukan (m)
1	Tanjung Tinggi	4.463 ± 350	+ 2.57
2	Manggar	2.611 ± 250	+ 1.90
3A	Tanjung Burung Mandi	4.882 ± 350	+ 2.09
3B	Tanjung Burung Mandi	4.145 ± 300	+ 1.40



Gambar 5. (A) Perubahan muka laut masa lampau berdasar data ketinggian dan umur fosil *Ostrea sp.* di Pulau Belitung. (B) Tumpang susun (*overlay*) perubahan muka laut masa lampau hasil penelitian tahun 2010 terhadap perubahan muka laut masa lampau hasil penelitian para peneliti terdahulu.

tahun. Diantara sampel 1 dan sampel 3B yang berumur 4.145±300 tahun dan berkedudukan 1,40 m di atas muka laut sekarang menunjukkan bahwa antara 4.463 tahun BP hingga 4.145 tahun BP telah terjadi fenomena penyusutan muka laut (regresi) sebesar 1,17 m dalam rentang waktu 318 tahun. Diantara sampel 3B dan sampel 2 yang berumur 2.611±300 tahun dan berkedudukan 1,90 m di atas muka laut sekarang menunjukkan bahwa sejak kurun 4.145 tahun BP hingga 2.611 tahun BP terjadi fenomena genang laut kembali (transgresi) setinggi 0,50 m dalam rentang waktu ± 1.534 tahun.

Hambatan utama pada hasil penelitian ini tidak diketemukannya sampel yang berumur lebih muda dari sampel 2 sehingga tidak diketahui fenomena muka laut sejak 2.611 tahun BP secara lebih rinci, namun secara umum muka laut sejak kurun tersebut terus menurun hingga mencapai pada muka laut sekarang.

Merujuk hasil penelitian perubahan muka laut yang telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu (Gambar 1) dan tumpang susun (*overlay*) hasil penelitian ini terhadap hasil penelitian para peneliti

terdahulu disajikan pada Gambar 5(B). Pada Gambar 5(B) terlihat bahwa fluktuasi muka laut pada kurun waktu sejak 5.000 – 2.600 an tahun BP menunjukkan adanya pola kemiripan terhadap hasil penelitian Tjia (1996). Pola kemiripan yang dimaksud adalah adanya dua kali peristiwa transgresi pada kurun waktu yang hampir sama walaupun dengan nilai ketinggian muka laut yang berbeda. Terbatasnya jumlah sampel yang dianalisis masih menyisakan persoalan fluktuasi muka laut yang terjadi sejak 2.611 tahun BP.

Perubahan muka laut dimasa lampau diduga merupakan interaksi kompleks berbagai faktor diantaranya: perubahan suhu secara global (pembekuan massa air dan pencairan es), perubahan sifat massa air, perubahan sirkulasi perairan samudera, perubahan posisi daratan / dasar perairan baik oleh beban es atau massa air (Lisitzin 1974, Woodroffe & Horton 2005). Tjia (1996) mengemukakan bahwa pengaruh pemanasan global dan efek rumah kaca yang terjadi sejak beberapa dekade terakhir tentu berperan dalam memacu mencairnya es di kawasan kutub yang mengakibatkan peningkatan muka laut. Namun demikian juga dikatakan bahwa tendensi penurunan muka laut jauh lebih besar dibanding peningkatannya.

Penelitian ini merupakan kajian awal dalam mengungkap fluktuasi muka laut dimasa lampau, diharapkan adanya penelitian serupa dengan pengambilan sampel yang lebih banyak pada dimasa mendatang, perubahan muka laut dimasa lampau dapat terkuak dengan tingkat ketelitian yang lebih baik.

Kesimpulan

Hasil analisis mengungkapkan bahwa di perairan Pulau Belitung yang merupakan bagian selatan dari Laut Cina Selatan sejak 5 ribu tahun BP hingga 2.600 an tahun BP pernah terjadi dua kali transgresi yang diselang dengan satu kali regresi. Pada transgresi yang pertama terjadi pada sekitar 4.460 an tahun BP, muka laut berada pada ketinggian 2,50 m diatas muka laut sekarang sedangkan transgresi kedua terjadi pada 2.611 an tahun BP, muka laut berada pada ketinggian 2,0 m di atas muka laut sekarang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Ir. Otto S.R. Ongkosongo pada kunjungan ke Pulau Belitung tahun 1995 menunjukkan salah satu situs fosil sisa muka laut purba. Setelah menunggu 15 tahun, gagasan pengukuran dan determinasi umur dapat terlaksana atas biaya DIPA-LIPI tahun 2010. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Sdr. Rubiman atas bantuan dalam menganalisis data geodetik, Sdr. Praditya Avianto atas bantuan analisis dan penggambaran, Sdri. Sri Kusdi Rahayu dan Sdri. Yunia Witasari ST atas segala bantuan dan kerjasamanya selama melakukan penelitian lapangan dan analisis di laboratorium dan kepada Drs. Satrio peneliti Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) atas bantuannya dalam menganalisis umur fosil.

Daftar Pustaka

- Aravena, R.O., R.R. Drimmie, R.M. Qureshi, R. McNeely & S. Fabris 1989. New possibilities for ¹⁴C measurements by liquid scintillation counting. *Radiocarbon* 31 (3): 387-392.
- Bemmelen, R.W. van 1949. *The geology of Indonesia*. Martinus Nijhoff the Hague, 1: 732 pp.
- Dishidros TNIAL 2010. Tabel Prediksi Pasang Surut tahun 2010.
- Horton B.P., P.L. Gibbard, G.M. Milne, R.J. Morley, C.Purintavaragul & J.M. Stargardt 2005. Holocene sea levels and palaeoenvironments, Malay-Thay Peninsula, Southeast Asia. *The Holocene* 15(8): 1199-1213
- Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) - Unesco 1985. *Manual on sea level measurement and interpretation*. Manuals and guides No.14: 83 pp.
- Lisitzin E. 1974. *Sea Level Changes*. Elsevier: 286 pp.
- Nair, A.R., U.K. Sinha, T.B. Josep & R.M. Rao 1995. Radiocarbon dating up to 37,000 years using CO₂ absorption technique. *Nuclear Geophysics* 9 (3): 263-268.
- Peltier, W.R. 2002. On eustatic sea level history: Last glacial maximum to holocene. *Quaternary Sci. Rev.* 21: 377-396.
- Pugh, D.T. 1987. *Tides, surges, and mean sea-level. A handbook for engineers and scientists*. John Wiley Sons Inc.: 472 pp.
- Suyarso 1989. Muka laut rata-rata dan aplikasinya dalam jaring geodesi. *Dalam: Pasang-surut. Asean-Australia Cooperative Programmes on Marine Science, Project I: Tides and Tidal Phenomena* (O.S.R. Ongkosongo dan Suyarso eds.). Puslitbang Oseanologi-LIPI: 192-200.
- Suyarso 2007. Pengangkatan daratan dan degradasi ekosistem pesisir paska gempa Aceh, Desember 2004 dan gempa Nias Maret 2005. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 33: 413-426.
- Suyarso 2008. Topographic changes after 2004 and 2005 earthquakes at Simeulue and Nias Islands identified using uplifted reefs. *Jour. Coast. Dev.* 12:20-29.
- Suyarso 2009. Pematang pantai purba di Kepulauan Natuna dan hubungannya terhadap kurva muka laut. *Ilmu Kelautan* 14(1): 14-22.
- Tornqvist T.E., J.L. Gonzalez, L.A. Newsom, K. Borg, A.F.M. de Jong & C.W. Kurnik 2004. Deciphering Holocene sea level history on the U.S. Gulf Coast: A high resolution record from the Mississippi Delta. *Geol. Soc. Am. Bull.* 116(7/8): 1026-1039.

Tjia H.D. 1996. Sea-level changes in the tectonically stable Malay-Thai Peninsula. *Quaternary International* 31: 95-101.

Woodroffe S.A. and B.P. Horton 2005. Holocene sea level changes in the Indo-Pacific. *Jour. Asian*

Earth Sci. 25(1): 29-43.

Yokoyama Y., A. Purcell, K. Lambeck & P. Johnston 2001. Shore-line reconstruction around Australia during the last glacial maximum and late glacial stage. *Quaternary International* (83-85): 9-18.