

KAPAN TERBENTUKNYA DANAU LAUT MISOOL RAJA AMPAT?

Gandi Y.S. Purba^{1,2}, Eko Haryono¹, Sunarto¹

¹Program Doktor Geografi Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta

²Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Negeri Papua, Manokwari.

E-mail: gandi.yantri@ugm.ac.id

ABSTRAK

Danau laut adalah ekosistem unik yang permukaannya terisolasi dari laut (*landlock*). Walaupun dipermukaan terlihat tidak ada hubungannya dengan laut, namun danau ini terhubung melalui gua, terowongan, lubang, rekahan, atau sistem perairan dasar danau. Terdapat lebih dari 200 danau laut yang terkonsentrasi besar di empat lokasi di seluruh dunia. Lokasi-lokasi ini memiliki karakteristik karst *semi-submerged* terhadap laut, yakni Bahamas, Palau, Vietnam dan Indonesia (Papua Barat, Kalimantan Timur). Di Raja Ampat Papua Barat baru diketahui sekitar 55 danau laut. Lima belas terdapat di Wayag dan Gam, dan 40 lainnya di Pulau Misool. Penelitian ini ingin mengetahui kapan Danau Laut di Misool terbentuk. Metode yang dilakukan adalah dengan mengetahui kedalaman maksimal setiap danau yang diukur melalui tampilan batimetrinya. Ada 7 buah danau yang diukur, yakni Lenamkana, Balbullol, Lenkafal, Keramat, Keramat 2, Keramat 3, dan Kawarapop. Di sebelah laut dari danau ini, diukur sebanyak 24 profil teras marin untuk mengetahui akumulasi panjang teras terbentuk. Hasil yang didapatkan teras terpanjang adalah -3m (450 m) dan -30 m (200 m). Formasi danau erat hubungannya dengan kenaikan muka laut. Danau di Misool terbentuk pada Holosen dan berumur lebih muda daripada di Palau. Danau laut di Misool yang paling dalam, yakni Danau Balbullol berumur paling tidak dimulai tenggelam 9250 BP. Selanjutnya setelah 9250 BP muka air terus naik mengisi bagian-bagian yang cekung lainnya. Danau laut yang terakhir terbentuk adalah Danau Karawapop, karena danau ini yang paling dangkal.

Kata Kunci : Danau laut, Misool, Raja Ampat, muk air laut

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Danau laut adalah badan air yang keseluruhan dikelilingi oleh daratan dan sangat bervariasi pada bentuk, ukuran dan jarak dari laut. Istilahnya adalah *anchialine lake*. Dalam bahasa Yunani berasal dari kata *anchí*, “dekat” dan *alos* dari *háls*, “laut, asin”. *Anchíalos* artinya dekat laut (<http://www.merriam-webster.com/dictionary/>). Holthuis (1973, dalam Tomascik dan Mah, 1994) mengartikan *anchialine* adalah genangan tanpa koneksi permukaan dengan laut, terdiri dari air asin atau payau dan berfluktuasi karena pasut.

Ekosistem danau laut yang dikelilingi oleh tebing dan bukit karst adalah bukti akan perkembangan umur bumi. Ada beberapa teori yang dikemukakan mengenai awal terbentuknya bentuk lahan laut ini. Teori yang mengaitkan dengan kondisi iklim purba (*paleoklimat*) saat kenaikan muka laut global kemudian mengisi bagian-bagian yang cekung dan teori yang terbentuk karena aktivitas tektonik, misalnya kenaikan atol (Kalimantan). Di Palau antara kenaikan muka laut dan tektonik keduanya saling mempengaruhi satu dengan yang lain. Banyak bukti terjadinya *uplift* dan *subsidence* karena tektonik yang kemudian bagian rendah terisi air. Danau laut di Karst Menara Teluk Ha Long Vietnam tidak lepas dari teori kenaikan muka laut. Namun sebelum terjadi kenaikan muka laut, proses di karst telah membentuk menara-lembah sebagai bagian yang menjulang dan terendam air ketika muka laut naik.

Tampilan bentang lahan marin di Raja Ampat sangatlah unik dengan hamparan pulau karst, atol dan *doline*. Seperti juga Ha Long Bay yang air lautnya mengisi bentang lahan marin yang telah ada, kemungkinan bagian-bagian yang cekung (*doline*) Raja Ampat terisi air ketika muka air naik. Apakah pembentukan danau di Raja Ampat adalah tunggal kenaikan muka laut global, atau faktor aktivitas tektonik, mengingat wilayah Papua memiliki aktivitas tektonik tinggi. Dari artikel Tjia (1992; 2013) mengemukakan tinggi muka air maksimum yang dapat dicapai saat iklim Holosen tidak melebihi 5 m. Hingga apabila ditemui bukti-bukti kenaikan lebih dari 5 m, kemungkinan besar peran tektonik memperbesar aksi dari perubahan iklim global tersebut. Roman tebing merekam aksi-aksi ini dalam bentuk teras bertingkat, gerongan pantai (*notch*), dan posisi krustasea yang dapat dijadikan patokan muka air saat itu. Bukti-bukti ini membantu mengemukakan teori tentang asal mula terbentuknya danau laut di Raja Ampat.

Penyebab terbentuknya danau laut utamanya dikarenakan oleh kenaikan muka air laut, aktivitas tektonik, atau keduanya bersinergi. Tentunya morfologi bentanglahan yang memungkinkan tertampungnya air dalam bentuk cekungan, tinggi-rendah, bukit-lembah menjadi faktor penting yang lain dari pembentukan ini. Aktivitas tektonik yang menyebabkan perubahan muka laut berbeda antara satu tempat dengan tempat yang lain.

Dalam bukunya Colin (2009) menulis pembentukan danau laut di Palau tidak lepas dari geologi di tempat itu dan perubahan iklim zaman dahulu (*paleoclimate*). Rock island seringkali negara ini disebut, merupakan hasil pengangkatan fosil karang pada Miocene 25 juta tahun yang lalu setinggi +207 m. Karena berupa fosil, tentunya pulau ini telah terbentuk sebelumnya di bawah. Pada zaman Glasial 20.000 tahun yang lalu, posisi muka laut sekitar -120 m di bawah muka laut sekarang. Paleo Palau masih berupa pulau tunggal luas yang luasnya tiga kali dari Palau sekarang. Laguna masih kering dan terumbu sekarang masih di atas muka laut. Batas pulau dan laut adalah jurang yang sangat curam. Karenanya hanya sedikit yang memiliki kedalaman yang dangkal karena batas daratan langsung curam ke laut yang dalam. Demikian juga topografi di daratan.

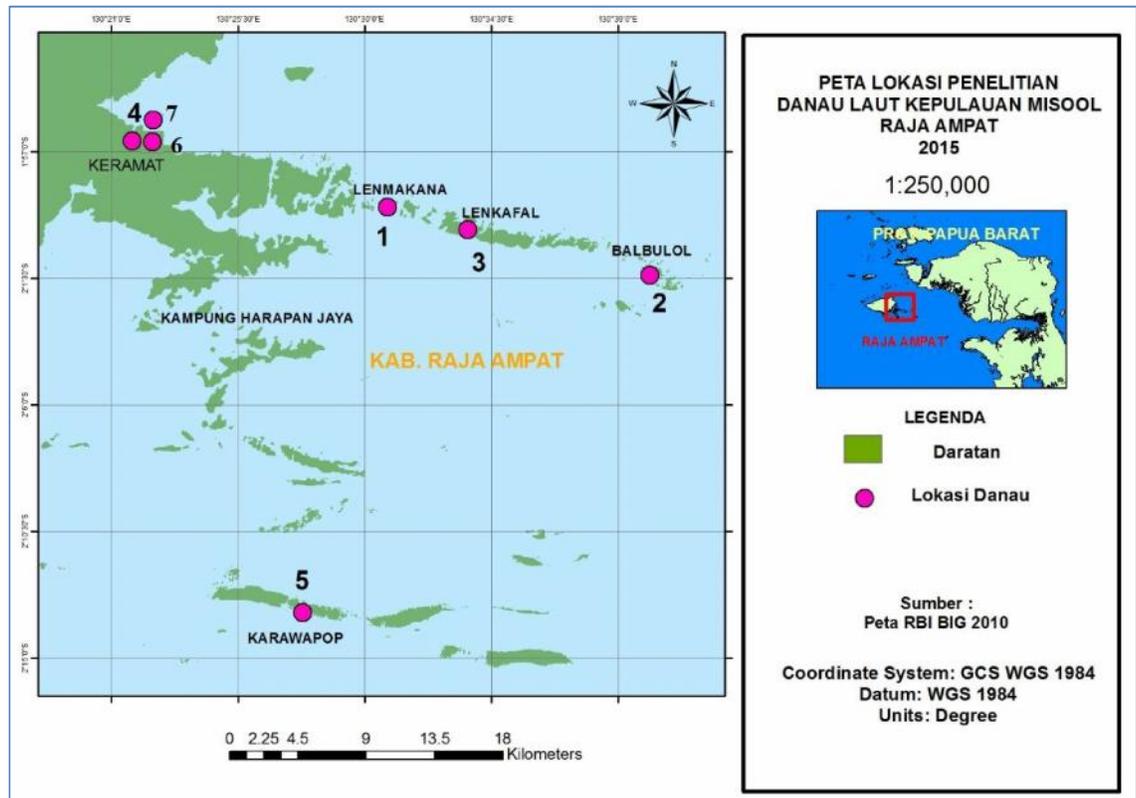
Setelah 20.000 tahun yang lalu muka air meningkat seiring dengan mencairnya es. Selama ribuan tahun air naik menutupi jurang, membasahi daratan, membentuk laguna, dan kedalaman yang dangkal di sebelah dalam terumbu penghalang. Bagian paling dalam dari lagoon mulai terisi air laut. Secara berlahan-lahan danau laut mulai terbentuk kira-kira 12.000 tahun yang lalu (yang sekarang kedalamannya 60 m). Ketika muka laut mendekati posisi sekarang (4000–5000 tahun yang lalu), danau yang paling dangkal terbentuk. Memungkinkan untuk mendapatkan kasat ide dari kedalaman maksimal, dimana yang lebih dalam terisi lebih dahulu hingga menjadi lebih tua.

Areal karst di Ha Long Bay Vietnam merupakan areal karst paling luas yang berkembang paling baik. Karst Ha Long Bay karst terbentuk pada periode Tertiary (di atas 35 milyar tahun) ketika subsidens lempeng masif Pasifik yang menyebabkan terangkatnya jutaan tahun deposisi samudra dan terbuka oleh iklim tropis. Iklim monsun menyebabkan hujan yang melimpah ketika musim panas (Mei sampai Oktober) dengan kemungkinan taifun (Juni sampai September). Sedangkan musim dingin dan kering dari November sampai April. Suhu tahunan di Ha Long Bay adalah 25°C. Dengan kondisi ini, proses karst telah membentuk sejumlah batugamping menjadi basin danau laut yang terendam dengan naiknya muka air setelah Last Glacial Maksimum (18.000 BP). Terdapat 3000 buah pulau yang terdiri atas menara besar dan kecil, tinggi dan pendek. Dua pulau besar, Cat Ba dan Dao Cai Bau terdiri dari 40 danau laut. Pulau berkapur tertinggi setinggi 400 m dan kedalaman terdalam antara dua tower dapat mencapai 25 m (Cerano et al., 2006).

Kuenen (1933, dalam Tomascik et al., 1997) berteori kalau Pulau Kakaban terbentuk secara berlahan-lahan pada waktu subsidens paparan. Tenggelamnya platform secara berlahan-lahan seharusnya melengkung sebelah atas di beberapa titik, sebagai konsekuensinya adalah menaikan atol 60 m di atas muka laut (Bammelen, 1949). Pada saat pengangkatan, sebelumnya yang berbentuk laguna kehilangan keseluruhan koneksi permukaan dengan laut, membuatnya anchialine. Naiknya bumbungan karang di pulau ini tidak memiliki teras di sebelah sisi laut. Kuenen (1947, dalam Tomascik dan Mah, 1994) berpendapat kalau pengangkatan terjadi cepat dan stabil, walaupun rumit dengan fluktuasi muka laut selama Pleistosen. Dengan demikian sejarah geologi danau ini berbeda dengan di Palau yang berasal dari karst. Danau laut di Kakaban adalah laguna dari atol paparan benua.

Belum ada yang secara terperinci mengkaji terbentuknya danau laut di Raja Ampat. Kenaikan muka air laut masih dijadikan teori umum untuk menjelaskan bagaimana cekungan-cekungan di Raja Ampat ini terendam. Mengetahui umur secara geologi melalui isotope bukanlah suatu pekerjaan yang murah. Melalui penelitian ini, secara deskriptif dapat diketahui umur perkembangan muka laut yang dikaitkan dengan umur terbentuknya danau laut.

METODE



Gambar 1. Lokasi danau laut di Misool

Batimetri

Kedalaman danau didapatkan dengan cara pemeruman. Alat ini akan merekam pantulan pulsa yang merupakan data kedalaman. Untuk mengukur kedalaman dan mengetahui kedalaman terdalam cara yang digunakan adalah dengan mengumpulkan data sebanyak-banyaknya dari titik-titik pemeruman. Penetapan lajur sebenarnya juga dilakukan, yakni membelah danau menjadi dua bagian dan mengelilingi danau. Hingga setiap luasan danau akan mendapat empat lajur. Akan tetapi tidak semua danau dapat diterapkan cara ini, karena air di danau laut sangat dipengaruhi oleh arus pasang surut dan angin. Jika sampai di danau tepat waktu pasang atau surut, perahu karet sangat mudah terbawa arus ataupun berubah arah dikarenakan angin. Perahu karet non mesin yang harus dikayuh ini adalah satu-satunya sarana apung yang memungkinkan dibawa dari laut masuk ke danau.

Teras Marin

Profil kedalaman yang kemudian disebut teras laut didapatkan dari pengukuran antara dua bukit/daratan terdekat sebelah laut, disekitar danau laut.

Data kedalaman profil laut untuk memperoleh teras laut dikoreksi dengan tinggi pasang surut dengan menggunakan hasil rekaman logger muka laut yang dipasang di bawah dan atas air yang di atur merekam per-15 menit. Rekaman logger yang dipakai untuk mengoreksi disamakan dengan waktu perekamam. Sedangkan MSL dihitung dari tiga hari berturut-turut, yakni sehari sebelum pengukuran, waktu pengukuran, dan sesudah pengukuran.

$$H_{plot} = H_{ukur} \pm H_{pas} \dots \dots \dots (1)$$

H_{plot} = Kedalaman terkoreksi, yaitu kedalaman dari MSL

H_{ukur} = Kedalaman terukur selama sounding

H_{pas} = Tinggi muka air dari MSL saat sounding

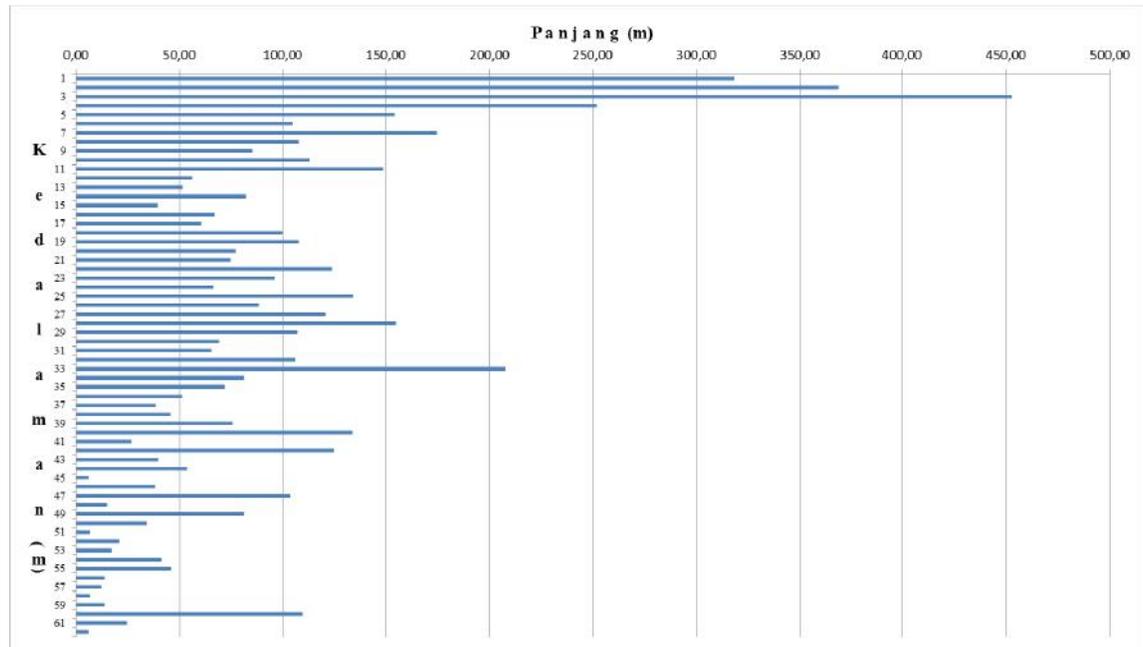
Jarak antara dua titik berurutan didapatkan dengan menggunakan aplikasi rumus pythagoras setelah menyalin posisi geografis terukur menjadi jarak (m). Setelah itu semua jarak dari berbagai lokasi di kelompokkan per kedalaman. Kedalaman 0 m berarti meliputi semua kedalaman dari 0-0,99m, kedalaman 1m meliputi 1-1,99 m, demikian seterusnya. Setelah pengelompokan ini, jumlah jarak pada masing-masing perkedalaman (X) diplotkan pada grafik Kartesius terhadap kedalaman (Y). Tampilan dari grafik ini sebagai dasar untuk melihat di kedalaman mana panjang teras secara signifikan hadir. Selanjutnya teras ini dibandingkan dengan posisi yang sama di tempat-tempat.

HASIL

Tabel 1. Kedalaman maksimum danau laut di Misool Raja Ampat

No	Nama Danau	Kedalaman Maksimum
1	Lenmakana	18,30
2	Balbullou	38,00
3	Lenkafal	24,00
4	Keramat	7,30
5	Karawapop	4,5
6	Keramat-2	7,7
7	Keramat-3	8,9

Kedalaman terdalam danau laut di Misool sedalam 38 m (Balbullou) dan terdangkal adalah Kawarapop (Tabel 1). Dari akumulasi panjang teras marin, -3 m adalah teras yang paling panjang (450 m) dan -33 m (>200 m).



Gambar 2. Akumulasi panjang teras marin (X) perkedalaman (Y) di sekitar danau laut di Misool Raja Ampat.

PEMBAHASAN

Terbentuknya danau laut tentu tidak lepas dari periode iklim panas setelah Glasial Maksimal terakhir (LGM), yakni Holosen. Ketika LGM paparan Sahul terekspos $9,3 \times 10^5 \text{ km}^2$ dan Pulau Papua masih terhubung dengan Australia Utara (Hantoro and Handayani, 1993 dalam Tomascik dkk (1997). Saat 12000 BP dimana iklim panas pada periode interglasial ini, Papua-Australia dipisahkan oleh Laut Arafura yang kedalamannya hanya 15 m.

Dari Gambar 2, akumulasi teras terpanjang ada pada kedalaman -3 dan -33 m. Eksistensi tinggi muka air laut saat itu dapat diketahui dari teras ini. Hasil umur radiometrik muka air Indikator Semenanjung Malaysia yang dirangkum oleh Tjia dan Mastura (2013), tinggi muka air kedalaman -33 m terjadi pada 9265 BP (-33,41 di Selat Malaka). Kemudian oleh Voris (2000) diketahui muka air Asia Tenggara di -30 m di sepanjang periode 17000 tahun yang lalu, terjadi sekitar 9600 BP, hampir pada pertengahan waktu dari periode tersebut (54%). Tidak terlalu jauh dari waktu di atas, Horton et al. (2005) juga menulis posisi minimum muka laut saat Holosen di Semenanjung Malaysia dan Thailand terjadi pada 9700-9250 BP yakni, $-22,15 \pm 0,55 \text{ m}$. Muka air ini masih berada di atas muka air di Misool. Kapan posisi muka air laut -30 m terjadi di Australia Utara? Dari umur U-series, pertumbuhan karang di kedalaman 20-30 m di Selatan Teluk Carpentaria, Australia Utara sekitar 10500-9500 cal yr BP (Lewis et al., 2013).

Transgresi Holosen di Laut Jawa mulai terjadi pada 11000 BP, yakni ketika Laut Jawa bagian timur dan Selat Sunda tergenang (Park et al. 1992 dalam

Tomascik, 1997). Kenaikan muka laut terus berlangsung, bahkan melebihi muka air laut sekarang. Data dari Tjia dan Mastura (2013), kedalaman -3 m terjadi kira-kira pada 6985 BP (-3,435m) dari sampel Negeri Sembilan-Malacca. Dari berbagai literature yang digrafikkan oleh Sathiamurthy dan Voris (2006), posisi -3 m di Paparan Sunda terjadi pada 6800. Dari data material mangrove sungai Alligator sebelah Selatan North Territory Australia, posisi ini terjadi pada 6500 BP (Lewis et, al., 2013).

Hal ini sinkron dengan kedalaman danau-danau di Misool. Colin (2009) menyatakan formasi danau erat hubungannya dengan kenaikan muka laut. Danau yang lebih dalam adalah danau yang lebih dulu tergenang air. Artinya danau di Misool berumur lebih muda daripada di Palau, dimana danau terdalam ditemukan 60 m, yakni Lake Tketau. Danau ini mulai terbentuk kira-kira 12000 yang lalu, sedangkan yang lebih dangkal kira-kira 4000-5000 yang lalu. Jadi danau di Misool dengan kedalaman 38 m menurut umur geologi umurnya masih muda dari pada di Palau. Danau laut di Misool yang paling dalam, yakni Danau Balbulol berumur paling tidak dimulai tenggelam 9250 BP. Selanjutnya setelah 9250 BP muka air terus naik mengisi bagian-bagian yang cekung lainnya. Danau laut yang terakhir terbentuk adalah Danau Karawapop, karena danau ini yang paling dangkal.

Di Semenanjung Malaysia sekitar 4400 BP, muka air lebih tinggi 5 m dari muka air sekarang, kemudian turun berlahan-lahan. Kondisi *highstand* ini juga terjadi pada interglasial 125.000 BP (Tjia dan Mastura, 2013). Tanda-tanda posisi air di atar muka air terlihat di Misool. Indikator posisi muka air terlihat di dinding laut, bahkan melebihi tinggi *highstand* dari referensi lingkungan di sekitar Papua. Posisi tertinggi muka laut pada Quaternary tidak lebih dari 6m. Jika lebih dari itu, Haile (1975) dalam (Tjia dan Mastura, 2013) memberikan alasan jika ditemukan bukti-bukti melebihi tinggi tersebut, berarti ada pengangkatan tektonik. Dari bukti-bukti yang dikumpulkan disepanjang dinding laut wilayah Misool terdapat indikator *highstand* terjadi saat interglasial. Namun demikian bukti-bukti tersebut melebihi dari 6 m. Sangatlah wajar karena di Papua erat kaitannya dengan aktivitas tektonik.

KESIMPULAN

Danau laut di dunia terbentuk erat kaitannya dengan masa interglasial periode Holosen. Di Misool, danau ini terbentuk belakangan daripada danau laut di Palau. Jika danau di Palau mulai di awal interglasial, di Misool mulai 9250 BP. Dengan terus naiknya muka air laut bagian-bagian cekung terus terisi, sampai terakhir adalah danau terdangkal mulai pada 6500 BP.

PENGHARGAAN (*acknowledgement*)

Penelitian ini tidak mungkin terlaksana tanpa bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terimakasih kepada The Nature Conservancy (TNC),

Pemerintah Daerah Raja Ampat, Balai Layanan Umum Daerah (BLUD), dan Wageningen University Netherland. Kepada mahasiswa Universitas Papua yang juga bersama-sama terlibat dalam penelitian ini: Ilham Azhar, Muh Ridho, and Adi Mukti. Pemandu lapangan Ali Oherenan, motorist, dan staf dari kantor BLUD Misool. Penelitian ini juga didukung oleh KEMENRISTEK-DIKTI melalui skim penelitian Penerapan Produk Terapan (PPT) 2016.

REFERENSI

- Bemmelen, R.W. Van., 1949, *The Geology of Indonesia : General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, Vol 1A, The Hague : Government Printing Office.
- Cerrano, C., Azzini, F., Bavestrello, G., Calcinai, B., Pansini, M., Sarti, M., dan Thung, D., 2006, "Marine lakes of karst islands in Ha Long Bay (Vietnam), Chemistry and Ecology", Vol. 22, No. 6, hal. 489-500.
- Colin, P.L., 2009, *Marine Environments of Palau*, Sand Diego : Indo-Pacific Press.
- Horton, B. O., Gibbard, P.L., Milne, G.M., Morley, R.J., Purintavaragul, C., Stargardt, J.M., 2005, "Holocene Sea Level and Paleoenvironments, Malay-Thai Peninsula, Southeast Asia", *The Holocene* 15,8 (2005), hal. 1199-1213.
- Lewis, Stephen E, Sloss, Craig R, Muray-Wallace, Colin V, Woodroffe, Colin D, Smithers Scoot G. 2013. Post-glacial sea-level changes around the Australian margin: a review. *Quaternary Science Reviews* 74: 115-138.
- Sathiamurthy, E., Voris H.K., 2006, *Map of Holocene Sea Level Transgression and Submerged Lake on the Sunda Shelf*. The Natural History Journal of Chulalongkorn University. Supplement 2 : 1-43.
- Tjia, H.D., 1992, "Holocene Sea-level Changes in the Malay-Thai Peninsula, a Tectonically Stable Environment", *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin* 31, July 1992, hal. 157-176.
- Tjia, H. D dan Mastura, S., 2013, *Sea Level Change in Peninsular Malaysia : Geological Record*. Kuala Lumpur : Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Tomascik, T., Mah, A.J., Nontji, A., Moosa, M.K., 1997, *Attols and Raised Islands, dalam The Ecology of Indonesia Seas Part 1*, Singapore : Periplus Editions (HK) Ltd, hal. 770.
- Voris, H. K, 2000. Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: shorelines, river systems and time durations. *Journal of Biogeography*, 27 : 1153-1167