

## Penentuan Laju Pertumbuhan Linier dan Lingkaran Tahun Karang Masif *Porites Sp.* dengan Sinar-X dan Sinar-UV

### *Determination of Linear Extension Rates and Annual Banding of Massive Coral *Porites Sp.* Using X-Ray and UV-Light*

U. Sugiharto\*, A. Arman

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

\*E-mail : untungs@batan.go.id

#### ABSTRAK

Laju pertumbuhan linier dan lingkaran tahun karang dipengaruhi oleh perubahan iklim dan faktor lingkungan. Pada penelitian ini digunakan sinar Ultra Violet (UV) dan sinar-X untuk menentukan laju pertumbuhan linier dan lingkaran tahun (*annual band*) karang serta kaitannya dengan perubahan iklim dan lingkungan. Terumbu karang *Porites Sp.* diambil dari lokasi penelitian di Pulau Penjaliran dan Pulau Pari di Kepulauan Seribu dengan cara dibor secara vertikal dengan alat bor pneumatik diameter 5 cm panjang 50 cm. Selanjutnya di laboratorium, sampel *core* karang dipotong menjadi bentuk lempeng (*slab*) setebal 5 mm, dicuci dengan aqua-bidest, dikeringkan dan dilakukan penyinaran dengan sinar-UV menggunakan lampu UV dan radiografi sinar-X. Hasil dari kedua teknik tersebut dianalisis dengan *software Image-J*. Hasil penelitian dengan sinar-UV dan sinar-X menunjukkan hasil yang hampir sama dalam besarnya laju pertumbuhan linier dan lingkaran tahun. Berdasarkan hasil analisis sinar-UV dan sinar-X teridentifikasi adanya perubahan iklim ekstrim El-Nino tahun 1997/1998 yang terlihat pada penurunan laju pertumbuhan yang signifikan dari kerangka karang yang kemungkinan diakibatkan oleh pemutihan karang (*bleaching*).

**Kata kunci:** laju pertumbuhan linier, lingkaran tahun, sinar-X, karang, sinar-UV

#### ABSTRACT

Linear extension rate and annual banding coral are influenced by climate change and environmental factor. In this study, combined UV-light and X-ray were used to determine the annual band, linear extension rates and their correlation with climate change and environmental pollutions. Coral *Porites sp.* were collected from research area Penjaliran and Pari Islands in Kepulauan Seribu by drilled vertically using pneumatic drilling with 5 cm diameter and 50 cm long. In the laboratory, coral samples were then cut into slabs with a thickness of 5 mm, cleaned with aqua-bidest, dried and exposed to UV-light using UV lamp and X-ray radiograph. The results from both UV-light and X-ray were then analyzed with *Image-J* software. The result shows that UV-light and X-ray have identical values in the linear extension rates and annual band. Based on the result of UV-light and X-ray indicated the extreme climate change of El-Nino event in 1997/1998 may induce a significant decreased of linear extension rates, which could be related to the coral bleaching.

**Keywords:** linear extension rate, annual band, X-ray, coral, UV-light

#### PENDAHULUAN

Kawasan perairan pesisir daerah tropis didominasi oleh salah satu ekosistem yang sangat beragam dan bervariasi di permukaan bumi yaitu terumbu karang. Terumbu karang yang terbentuk dari endapan karbonat dan dikelilingi oleh hewan yang disebut polip [1]. Kerangka karang pembentuk terumbu merupakan salah satu perekam alami perubahan suhu dan lingkungan.

Hal ini memungkinkan terumbu karang berpotensi untuk merekonstruksi perubahan iklim masa lampau yang terjadi saat ini hingga jutaan tahun lampau dari rekaman yang ada di kerangkanya di mana data pengukuran langsung sangat terbatas hanya beberapa tahun yang lalu [2]. Pertumbuhan karang masif yang terbentuk dari endapan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dapat tumbuh dari skala milimeter hingga centimeter per-tahun. Pertumbuhan kerangka karang ini mengikuti pola

pertumbuhan tanaman, dengan membentuk lingkaran tahunan (*annual band*). Pembentukan lingkaran tahunan ini sangat dipengaruhi oleh musim dan kondisi lingkungan sekitarnya. Selanjutnya selama proses pembentukan kerangka tersebut juga terjadi inkorporasi isotop maupun unsur organik dan anorganik yang mencerminkan kondisi lingkungan pada permukaan air laut sekitarnya seperti suhu permukaan laut, kesetimbangan hidrologi (evaporasi/presipitasi), sirkulasi air laut, dan pencemaran [3], [4], [5], [6].

Pemanfaatan radiografi sinar-X telah banyak digunakan untuk menentukan laju pertumbuhan linier, umur, dan arah pertumbuhan serta kalsifikasi karang dalam kaitannya dengan studi perubahan iklim [7], [8]. Hasil radiografi sinar-X pada kerangka arang memberikan pola kerapatan struktur karang yang padat (densitas tinggi) dan kurang padat (densitas rendah) secara bergantian sepanjang arah pertumbuhan karang yang menunjukkan lingkaran tahun [8], [9]. Hasil dari sinar-X tersebut sangat diperlukan di awal penelitian untuk menentukan arah pertumbuhan karang sebelum melakukan analisis lanjutan untuk kajian seperti kronologi pencemaran, perubahan suhu permukaan laut, keseimbangan hidrologi (evaporasi/presipitasi), dan El-Nino/La-Nina [8], [9], [10], [11].

Sinar-UV yang diproduksi oleh alat luminansi sering digunakan untuk merekonstruksi perubahan lingkungan seperti terjadinya banjir yang membawa banyak material organik dan mengendap di daerah pesisir dan terkadang juga mengendap di kerangka karang [12], [13]. Ketika sinar-UV diarahkan ke kerangka karang maka lapisan organik akan memancarkan cahaya pendar (iluminasi) yang dapat ditangkap oleh alat *photomultiplier* dan hasilnya dapat digunakan untuk merekonstruksi pencemaran lingkungan. Hal ini sangat bermanfaat dalam bidang oseanografi, pertanian, klimatologi, dan pertanian, serta untuk sumber air dan lain-lain [13].

Sesuai dengan peruntukan dari teknik ini, maka biasanya digunakan untuk terumbu karang yang berada di daerah pesisir yang berdekatan dengan daratan (*onshore*), karena adanya bawaan material organik. Teknik yang lebih sederhana dan mudah dilakukan yaitu dengan menggunakan lampu UV dan kamera digital. Percobaan dapat dilakukan di ruang gelap (*dark room*) yaitu dengan meletakkan lempeng sampel karang dan hanya disinari lampu UV dan hasil pantulannya difoto dengan kamera digital. Teknik dengan

sinar-UV memiliki keterbatasan yaitu tidak terlihat dengan jelas arah pertumbuhan karang jika dibandingkan dengan hasil sinar-X yang dapat menghasilkan pola arah pertumbuhan karang berdasar polip. Seperti disampaikan di atas bahwa arah pertumbuhan sangat diperlukan karena pada arah tersebut akan diperoleh kondisi optimum baik dalam laju pertumbuhan linier dan umur karang maupun analisis lanjutan untuk parameter lainnya seperti pencemaran dan perubahan suhu [4], [5], [6].

Pemanfaatan sinar-UV dapat juga digunakan untuk menentukan laju pertumbuhan dan umur karang di daerah yang jauh dari daratan (*offshore*) berdasarkan luminansi dari hasil sinar-UV [14]. Pola siklus dan perulangan dari pancaran luminansi dari kerangka karang merepresentasikan umur dan laju pertumbuhannya. Luminansi pada kerangka yang densitas tinggi berbeda dengan kerangka karang densitas rendah. Selanjutnya, luminansi pada lapisan atas karang dapat memberikan informasi tentang ketebalan lapisan *tissue* karang.

Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini akan dikaji tentang pemanfaatan teknik dengan sinar-UV dan sinar-X yang saling menunjang untuk interpretasi umur dan laju pertumbuhan linier terumbu karang dengan menggunakan sampel dari Pulau Penjaliran dan Pulau Pari daerah Kepulauan Seribu. Selanjutnya dilakukan analisis pengaruh dari faktor musim (perubahan iklim) dan faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan linier karang di sekitar kedua pulau tersebut.

## BAHAN DAN METODE

Karang *Porites Sp.* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Pulau Penjaliran yang berada di Kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu dengan kordinat 5°28'8,48"LS dan 106°32'35,55"BT dan dari Pulau Pari dengan koordinat 5°52'2.74"LS dan 106°35'43"BT (Gambar 1). Pulau Penjaliran dan Pulau Pari berada pada jarak berturut-turut sekitar 70 km dan 30 km dari kota Jakarta. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Juli 2011.

Sampling dilakukan menggunakan alat bor tangan pneumatik yang dihubungkan ke tabung udara selam untuk menggerakkan pipa yang di ujungnya terpasang mata bor. Alat bor berdiameter 5 cm dengan panjang 50 cm, dan dapat diperpanjang menggunakan ekstensi hingga

panjangnya mencapai 3 m. Karang *Porites* dibor pada bagian tengahnya secara vertikal untuk mendapatkan arah dan laju pertumbuhan yang maksimum dan kontinyu. Pada saat alat bor digunakan, air dialirkan menggunakan pompa yang dilewatkan melalui bagian dalam pipa yang berfungsi untuk mengeluarkan butir-butir halus dari karang yang tergerus oleh mata bor. Hal ini untuk menghindari terjadinya pemblokiran pada perputaran mata bor. Panjang sampel yang diperoleh dari Pulau Pari adalah 65 cm (Gambar 2). Sedangkan panjang sampel dari Pulau Penjaliran adalah 75 cm. Akan tetapi pada penelitian ini hanya dianalisis 65 cm untuk memberikan umur dan laju pertumbuhan karang untuk rentang waktu yang sama dengan asumsi bahwa pertumbuhan karang *Porites Sp.* dari masing-masing lokasi tidak jauh berbeda.



**Gambar 1.** Lokasi pengambilan sampel karang di Pulau Penjaliran dan Pulau Pari, Kepulauan Seribu. Pulau Penjaliran berada pada zona inti Kawasan Taman Nasional Laut, Kepulauan Seribu

Sampel karang dipotong/dibelah dari permukaan hingga dasar karang sepanjang karang dengan tebal sekitar 5 mm menjadi bentuk lempeng (*slab*) menggunakan mesin potong yang terbuat dari *stainless-steel*. Selanjutnya sampel dianalisis dengan sinar-UV dan sinar-X untuk mengetahui umur, arah, dan laju pertumbuhan liniernya.

Preparasi sampel dilakukan sebelum dilakukan penyinaran dengan sinar-UV dan sinar-X, sebagai berikut: Sampel lempeng terlebih dahulu dibersihkan dengan *aqua-bidest* resistivitas 18 M $\Omega$ .cm dalam *ultrasonic bath* yang diulang 3 kali untuk menghilangkan sisa potongan karang dan kotoran yang menempel di permukaannya.

Sampel yang sudah bersih selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C selama 7 hari. Sampel yang telah kering disinari dengan sinar-UV menggunakan lampu UV yang dilakukan di laboratorium Kelautan PAIR-BATAN. Selama proses penyinaran yang dilakukan di ruang gelap, pantulan sinar-UV dari sampel terumbu karang difoto dengan kamera digital. Foto selanjutnya dianalisis dengan *software Image-J* (*open source software*, <http://imagej.nih.gov/ij>) dan diukur juga secara paralel dengan mikrometer untuk menentukan lingkaran tahun dan laju pertumbuhan linier karang [15]. Sampel yang sama disinari dengan sinar-X menggunakan Rigaku Radioflex RF- 300EGM2 130 keV dengan lama penyinaran 1 detik yang dilakukan di laboratorium *Non-Destructive Test* (NDT) PAIR-BATAN. Setelah melalui proses pencucian di ruang gelap, diperoleh hasil film positif dari masing-masing terumbu karang. Film positif selanjutnya diubah menjadi format digital menggunakan *scanner* film positif. Hasil *scanner* dianalisis dengan *software Image-J* dan mikrometer untuk menentukan lingkaran tahun dan laju pertumbuhan linier karang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 2 ditampilkan salah satu *core* terumbu karang *Porites Sp.* dari Pulau Penjaliran, dengan panjang 65 cm dan diameter 5 cm. Setelah melalui proses seperti disampaikan pada prosedur di atas maka diperoleh foto lempeng, hasil sinar-UV dan sinar-X seperti terlihat pada Gambar 3.

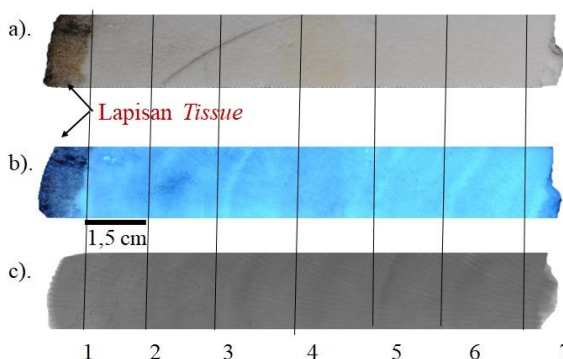


**Gambar 2.** Sampel *core* terumbu karang *Porites Sp.* dari Pulau Penjaliran, Kepulauan Seribu dengan panjang 65 cm dan diameter 5 cm

Pada Gambar 3, potongan sampel tersebut secara memanjang adalah bagian paling atas dengan panjang 12 cm. Pada Gambar 3a terlihat lempeng karang yang telah dicuci dengan *aqua-bidest* dan telah dikeringkan. Lempeng adalah endapan kalsium karbonat dengan lapisan *tissue* pada bagian permukaan. Terlihat dengan jelas perbedaan warna dan kepadatan antara lapisan *tissue* dan karbonat. Lapisan *tissue* terbentuk dari

bahan organik sedangkan karbonat terbentuk dari bahan endapan kalsium karbonat yang merupakan hasil simbiosis antara karang dan *zooxanthella*. Lapisan *tissue* (organik) juga terlihat jelas pada hasil sinar-UV (Gambar 3b), karena sinar-UV berinteraksi dengan bahan organik. Hal yang berbeda dengan hasil sinar-X (Gambar 3c) dimana lapisan polip tidak terlihat dengan jelas dibanding dengan lapisan karbonat.

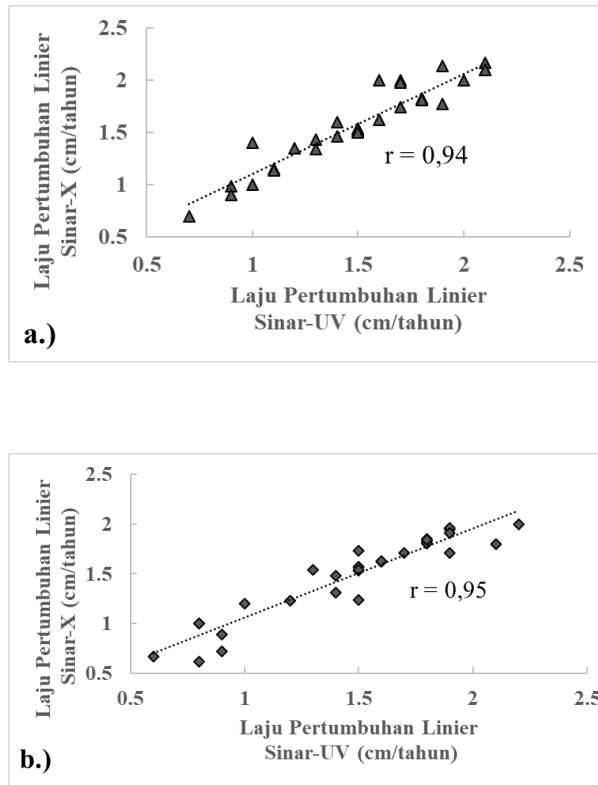
Lapisan *tissue* ketebalan sekitar 8 mm yang terlihat pada hasil sinar-UV dan foto lempeng menunjukkan bahwa karang dalam keadaan masih hidup ketika dilakukan pengambilan sampel. Penelitian yang dilakukan oleh [2], [8], [18] melaporkan bahwa rata-rata ketebalan lapisan *tissue* pada jenis *Porites Sp.* di *Great Barrier Reef* adalah  $6,5 \pm 1,5$  mm yang diukur dengan metode densitometer. Lapisan tersebut menempati sekitar 50 % dari lingkaran tahun, yang setara dengan waktu 6 bulan. Berdasarkan rata-rata pertumbuhan karang di Pulau Penjaliran adalah 1,6 cm/tahun maka pada bagian *tissue* tersebut telah berumur sekitar 6 bulan. Maka dengan menghitung mundur dari saat pengambilan sampel di bulan Juli 2011, pada lapisan pertama (angka 1) adalah bulan Januari 2011. Berdasarkan data temperatur dari satelit *Integrated Global Ocean Services System Sea Surface Temperature* (IGOSS SST) maka pada bulan Januari suhu permukaan laut adalah  $27,6$  °C yang merupakan suhu terendah dari siklus suhu di perairan Kepulauan Seribu [16]. Kemudian dari pola musim, maka pada bulan Januari adalah musim barat yang merupakan musim penghujan. Sementara itu dari hasil sinar-X yaitu pada bagian dengan densitas tinggi terbentuk pada saat suhu permukaan laut rendah (musim hujan). Hal ini sesuai dengan pertumbuhan terumbu karang yang lambat pada saat terjadi musim penghujan karena intensitas sinar matahari berkurang pada musim tersebut akibat berkurangnya cahaya yang diperlukan oleh *zooxanthellae* untuk proses fotosintesis [11], [13], [19]. Sebaliknya densitas rendah dari karang terbentuk pada saat musim kering (kemarau) karena pada saat tersebut intensitas cahaya matahari cukup besar untuk fotosintesis, yang menghasilkan laju pertumbuhan karang lebih cepat.



**Gambar 3.** Lempeng (*slab*) (a), hasil sinar-UV (b) dan sinar-X (c) dari bagian atas/permukaan karang sampel *Porites Sp.* dari Pulau Penjaliran, Kepulauan Seribu. Angka 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 serta garis tegak lurus adalah lingkaran tahun (*annual band*)

Lingkaran tahun yang diperoleh dengan dua teknik tersebut menunjukkan posisi dan interval yang sama. Pada hasil sinar-UV (Gambar 3b) tidak terlihat adanya lapisan dominan selain lingkaran tahun sehingga dapat diasumsikan tidak ada masukan dari air tawar yang dominan dari daerah sekitar. Hal ini dimungkinkan karena lokasi pengambilan sampel yang cukup jauh dari daratan utama (Jakarta). Walaupun banjir sering terjadi pada beberapa tahun belakangan ini [16], namun kemungkinan bahan organik yang terbawa oleh sungai sudah mengalami pengenceran sehingga tidak terlihat adanya endapan pada lapisan karang Pulau Penjaliran. Sementara itu sumber air tawar dari pulau sekitar juga sangat kecil karena tidak dijumpai adanya sungai yang besar pada daerah sekitar (pulau-pulau kecil). Pengamatan pada seluruh sampel karang dari permukaan hingga dasar baik sampel Pulau Pari maupun Pulau Penjaliran tidak ditemukan adanya lapisan yang dominan selain lingkaran tahun.

Lingkaran tahun dan laju pertumbuhan linier yang diperoleh dari analisis dengan *Image-J* dan pengukuran dengan mikrometer dari hasil sinar-UV mendekati hasil yang diperoleh dengan sinar-X dengan koefisien regresi  $r = 0,94$  dan  $r = 0,95$  untuk masing-masing karang Pulau Penjaliran dan Pulau Pari (Gambar 4a dan 4b).

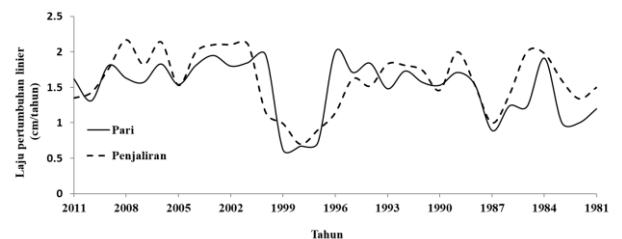


**Gambar 4.** Korelasi laju pertumbuhan linier karang dengan teknik sinar-X dan sinar-UV pada terumbu karang a) Pulau Penjaliran dan b) Pulau Pari

Pada Gambar 5, ditunjukkan laju pertumbuhan linier karang Pulau Penjaliran dan Pulau Pari untuk rentang waktu 30 tahun (1981-2011). Hasil analisis tersebut menggunakan sinar-UV dan mikrometer, sedangkan hasil sinar-X tidak dicantumkan karena sinar-X memberikan laju pertumbuhan linier yang tidak jauh berbeda dengan sinar-UV untuk kedua lokasi seperti disampaikan di atas. Rata-rata laju pertumbuhan linier untuk karang Pulau Penjaliran adalah  $1,60 \pm 0,40$  cm/tahun ( $\pm$  standar deviasi). Sedangkan laju pertumbuhan linier rata-rata di Pulau Pari pada periode yang sama adalah  $1,49 \pm 0,41$  cm/tahun. Laju pertumbuhan di Pulau Penjaliran hanya sedikit lebih besar dibandingkan Pulau Pari dan tidak menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan. Berdasarkan pola arus di Kepulauan Seribu bahwa arus lebih dominan bergerak dari timur ke barat (musim timur) dibanding musim lainnya [20].

Seperti diketahui bahwa pertumbuhan karang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti

kenaikan/penurunan suhu, faktor antropogenik, dan dampak dari aktivitas manusia [17]. Penelitian yang dilakukan [16] melaporkan bahwa dampak penambahan penduduk berkorelasi dengan laju pertumbuhan linier karang. Peningkatan kadar polutan dalam air laut yang mengakibatkan meningkatnya kekeruhan dapat menyebabkan penurunan laju pertumbuhan karang karena hal tersebut akan mengganggu proses fotosintesis. Selain itu, polutan yang ada di kolom air akan menempel pada karang sehingga *zooxanthellae* yang bersimbiosis dengan karang akan terganggu yang menyebabkan menurunnya laju pertumbuhan karang tersebut.



**Gambar 5.** Laju pertumbuhan karang di Kepulauan Seribu (Pulau Pari dan Pulau Penjaliran) yang dihitung berdasarkan analisis dengan sinar-UV

Selanjutnya kedua karang memberikan respon yang sama yaitu mengalami penurunan laju pertumbuhan yang cukup besar pada tahun 1997/1998. Hal ini terkait dengan periode kejadian El-Nino [21], [22]. Pada penjelasan di atas telah disampaikan bahwa pertumbuhan karang lebih besar pada saat musim kemarau dibandingkan dengan musim penghujan, akan tetapi hal itu terjadi pada kondisi normal dimana suhu permukaan laut masih berada pada batas normal untuk pertumbuhan karang. Seperti diketahui bahwa pada saat terjadi El-Nino [9], kenaikan suhu permukaan laut dapat melebihi batas normal untuk pertumbuhan karang sehingga pada kondisi ekstrim tersebut *zooxanthellae* meninggalkan terumbu yang disebut dengan pemutihan (*bleaching*) [9], [23]. Karena *zooxanthellae* tidak bersimbiosis maka karang mengalami penurunan pertumbuhan. Akan tetapi seperti terlihat pada Gambar 5, setelah melewati kondisi ekstrim El-Nino, terumbu karang kembali ke kondisi normal melalui proses *recovery*.

## KESIMPULAN

Sinar-X dan sinar-UV dapat digunakan untuk menentukan lingkaran tahun (*annual band*) dan laju pertumbuhan dari terumbu karang sehingga kedua metode tersebut saling menunjang satu sama lain. Sinar-UV dapat digunakan juga untuk menentukan ketebalan lapisan *tissue* karang yaitu lapisan paling atas yang masih hidup, sedangkan dengan sinar-X lapisan tersebut tidak terlihat dengan jelas. Lapisan *tissue* tersebut penting diketahui untuk menentukan titik awal lingkaran tahun dari terumbu karang.

Laju pertumbuhan linier rata-rata karang di Pulau Pari yang berada lebih dekat ke daratan utama (*main land*) relatif lebih rendah dibandingkan karang Pulau Penjaliran. Hasil analisis sinar-X dan sinar-UV teridentifikasi adanya perubahan iklim ekstrim El-Nino tahun 1997/1998 yang terlihat pada penurunan laju pertumbuhan yang sangat besar dari kerangka karang. Penurunan pertumbuhan ini kemungkinan diakibatkan oleh kenaikan suhu yang signifikan yang menyebabkan pemutihan karang (*bleaching*).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada kelompok penelitian NDT bidang Industri dan Lingkungan - PAIR atas penggunaan fasilitas radiografi sinar-X. Terima kasih juga disampaikan kepada saudara Arief Adhari dalam mengambil foto sinar-UV.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T.F. Cooper *et al.*, “Declining coral calcification in massive *Porites Sp.* in two nearshore regions of the Northern Great Barrier Reef,” *Glob. Chang. Biol.*, vol. 14, no. 3, pp. 529–538, 2008.
- [2] T. Done, “Coral reef, definition” in *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, vol. Part 2, pp. 261–267, 2011.
- [3] C.J. Merchant *et al.*, “Sea surface temperature datasets for climate applications from Phase 1 of the European Space Agency Climate Change Initiative (SST CCD),” *Geosci. Data J.*, vol. 1, no. 2, pp. 179–191, 2014.
- [4] K.F. Yu *et al.*, “ $\delta^{18}O$ , Sr/Ca and Mg/Ca records of *porites lutea* corals from Leizhou Peninsula, Northern South China Sea, and their applicability as paleoclimatic indicators,” *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 218, no. 1–2, pp. 57–73, 2005.
- [5] W. Jiang *et al.*, “Coral trace metal of natural and anthropogenic influences in the Northern South China Sea,” *Sci. Total Environ.*, vol. 607–608, pp. 195–203, 2017.
- [6] A. Arman dkk., “Heavy metals in annual band of kerangka coral *Platygyra sp.* in Pari Island, Kepulauan Seribu: comparison between recent and mid-holocene,” *A Sci. J. Appl. Isot. Radiat.*, vol. 16, no. 1, pp. 37–46, 2020.
- [7] T.B. Razak *et al.*, “Use of skeletal Sr/Ca ratios to determine growth patterns in a branching coral *Isopora palifera*,” *Mar. Biol.*, vol. 164, no. 4, p. 96, 2017.
- [8] J. Sadler *et al.*, “Reef core insights into mid-holocene water temperatures of the Southern Great Barrier Reef,” *Paleoceanography*, vol. 31, no. 10, pp. 1395–1408, 2016.
- [9] D.C. Claar *et al.*, “Global patterns and impacts of El Niño events on coral reefs: A meta-analysis,” *PLoS One*, vol. 13, no. 2, p. e0190957, 2018.
- [10] N. Duprey *et al.*, “Early mid-holocene SST variability and surface-ocean water balance in the Southwest Pacific,” *Paleoceanography*, vol. 27, no. 4, pp. 1–12, 2012.
- [11] G.L.C. Spicer *et al.*, “Measuring light scattering and absorption in corals with Inverse Spectroscopic Optical Coherence Tomography (ISOCT): a new tool for non-invasive monitoring,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 14148, 2019.
- [12] Q. Shi *et al.*, “Two centuries-long records of skeletal calcification in massive *Porites* colonies from Meiji Reef in the Southern South China Sea and its responses to atmospheric CO<sub>2</sub> and seawater temperature,” *Sci. China Earth Sci.*, vol. 55, no. 1, pp. 1–12, 2012.

- [13] W.L. Adiningsih dkk., “Analisis laju pertumbuhan karang *Porites Sp* di Perairan Sumatera Barat dengan coral x-radiograph densitometry system,” *Pros. Semin. Nas. Kelaut. dan Perikan. IV*, no. September, pp. 87–102, 2018.
- [14] D.J. Barnes *et al.*, “Measurement of luminescence in coral kerangkas,” *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, vol. 295, no. 1, pp. 91–106, 2003.
- [15] K.D. Castillo, J.B. Ries, J.M. Weiss, “Declining coral skeletal extension for forereef colonies of *Siderastrea siderea* on the mesoamerican barrier reef system, Southern Belize,” *PLoS One*, vol. 6, no. 2, 2011.
- [16] S.Y. Cahyarini, “Pertambahan penduduk, variasi interannual suhu permukaan laut dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan linier karang *Porites* di Kepulauan Seribu,” vol. 2, no. 1, pp. 39–48, 2011.
- [17] A. Arman, N. Zamani, T. Watanabe, “Study to determination the age and extension rate of corals in related to climate change by X-ray,” *J. Apl. Isot. dan Radiasi*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2013.
- [18] J.E. Maragos, G.J. Williams, “Pacific coral reefs: an introduction,” in *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, vol. Part 2, no. Figure 3, pp. 753–776, 2011.
- [19] M.D.H. Sazzad *et al.*, “Environmental effects on the stable carbon and oxygen isotopic compositions and skeletal density banding pattern of *Porites* coral from Khang Khao Island, Thailand,” *African J. Biotechnol.*, vol. 9, no. 33, pp. 5373–5382, 2010.
- [20] S.P. Puradiredja dkk., “Pola sebaran spasial substrat dan kaitannya terhadap pola arus dan gelombang di Pulau Tidung, Kepulauan Seribu,” *Bogor Agricultural University*, 2016.
- [21] H.G. Barrett, J.M. Jones, G.R. Bigg, “Reconstructing El Niño Southern oscillation using data from ships’ logbooks, 1815–1854. Part I: methodology and evaluation,” *Clim. Dyn.*, vol. 50, no. 3–4, pp. 845–862, 2018.
- [22] B. Wang *et al.*, “Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 116, no. 45, pp. 22512–22517, 2019.
- [23] S. Hetzinger *et al.*, “A change in coral extension rates and stable isotopes after El Niño-induced coral bleaching and regional stress events,” *Sci. Rep.*, vol. 6, no. February, pp. 1–10, 2016.

